



La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL” bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN UN REFRIGERADOR COMERCIAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

DANIEL ALEJANDRO VACA CAÑAS

Danielalejandro1985@ovi.com

DIRECTOR: DR. LUÍS CORRALES PAUCAR

lcorrales@epn.edu.ec

Quito, Septiembre del 2012

DECLARACIÓN

Yo, Daniel Alejandro Vaca Cañas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Daniel Alejandro Vaca Cañas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Daniel Alejandro Vaca Cañas bajo mi supervisión

Dr. Luís Corrales Paucar
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Dios gracias por brindarme la oportunidad de llegar hasta este momento, cuando muchas veces pensé que lo mejor era buscar un camino más fácil. Gracias porque me has dado fuerza espiritual y sabiduría y gracias porque me has regalado una gran familia y salud para disfrutarla.

A mi Abuelita Maruja, que siempre ora y pide por mi, y me demuestra que a pesar de que a veces su mente se demore en recordar, en su corazón siempre tengo un lugar muy especial

A mi Abuelita Elena porque siempre tuvo para un sabio consejo, que me sirvió para tomar las mejores decisiones, porque dedicó sus mejores años para cuidarme y verme crecer, porque cuando estuve enfermo de salud o de espíritu tuvo siempre un remedio que me hizo mejorar y porque el simple hecho de tenerla a mi lado hace que me sienta agradecido con Dios por permitirme disfrutar de su compañía

A mi Papá René, porque ha dedicado su vida y su esfuerzo para lograr que nosotros, sus hijos, tengamos un norte y un camino guiado por valores y basado en principios. Porque nos enseñó el valor de las verdaderas cosas, aquellas que perduran cuando otras vanales se han extinguido y porque siempre me apoyó en todo lo que le pedí, aun cuando hacerlo ya no era su obligación.

A mi Mama, Betty, por su infinito amor y comprensión, porque estuvo siempre a mi lado ayudándome a madurar, porque a pesar de que no siempre fui el mejor hijo, ella nunca dejó de ser la mejor madre, porque a través del tiempo ha puesto en mis manos todas las herramientas que pude haber necesitado para seguir adelante.

A mi Tía Isabel, que es como una segunda madre para mí, porque me ha enseñado que por mucho que desee las cosas nunca van a llegar si no lucho por ellas, porque me enseñó que si no doy el primer paso y empiezo a caminar nadie lo va a hacer por mí.

A mi Tío Gonzalo y a mi Tía Rosita, porque siempre fueron un ejemplo a seguir y porque siempre me encanto e intenté aprender la forma inteligente con que manejan y resuelven las cosas.

A mis hermanos, David y Diana, porque con sus ánimos, buenos deseos y bromas he llegado a alcanzar muchas de las cosas por las cuales me esforcé, porque son los únicos que me entienden cuando hablo sin hablar y en lugar de palabras emito bufidos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis al esfuerzo, a la perseverancia en general, no solo mías, sino de todos aquellos que lucharon y lo consiguieron, dedico esta tesis a mi novia Wendy ya que a pesar de que no podía ayudarme directamente con ella, sus palabras, sus elogios, y su apoyo incondicional fueron siempre la mejor ayuda, porque me dio su palabra y la mantuvo, pero principalmente dedico esta tesis a mis hermanos porque quiero que cuando les toque su turno de hacer lo que tengan que hacer lo hagan mejor que yo.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	xv
PRESENTACIÓN.....	xvii
1. CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2. ESTADOS FÍSICOS DE UNA SUSTANCIA PURA.....	1
1.2.1. SÓLIDO.....	2
1.2.2. LÍQUIDO.....	2
1.2.3. GAS.....	2
1.3. CALOR ESPECÍFICO.....	3
1.4. CALOR LATENTE.....	4
1.5. CALOR SENSIBLE.....	6
1.6. CAMBIOS DE ESTADO FÍSICO.....	6
1.6.1. CONDENSACIÓN.....	7
1.6.2. EVAPORACIÓN.....	7
1.6.3. SATURACIÓN.....	10
1.7. INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN.....	13
1.7.1. PROCESOS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN.....	15
1.7.1.1. EXPANSIÓN.....	15
1.7.1.2. EVAPORACIÓN.....	16
1.7.1.3. COMPRESIÓN.....	16
1.7.1.4. CONDENSACIÓN.....	17
1.8. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	17
1.9. CICLO MECÁNICO DE REFRIGERACIÓN.....	20
1.9.1. COMPRESORES.....	21
1.9.1.1. FUNCIÓN DEL COMPRESOR.....	21
1.9.2. CONDENSADOR.....	22
1.9.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CONDENSADOR.....	23
1.9.2.2. FUNCIÓN DEL CONDENSADOR.....	23

1.9.3. EVAPORADOR.....	23
1.9.3.1. RECALENTAMIENTO DEL VAPOR.....	26
1.9.3.2. ESCARCHE Y DESHIELO DE LOS EVAPORADORES.....	29
1.9.4. TUBO CAPILAR.....	30
1.9.5. FILTRO SECADOR.....	31
1.9.6. ACUMULADOR DE SUCCIÓN.....	32
1.10. REFRIGERANTES.....	34
1.10.1. PROPIEDADES.....	35
1.10.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	35
1.10.3. TRAZADO DE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN.....	36
1.10.4. DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO.....	42
2. CAPÍTULO 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	45
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN.....	45
2.1.1. PARTES INTERNAS DEL SR-L628EV.....	46
2.2. DIAGNÓSTICO INICIAL DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN.....	46
2.3. SELECCIÓN DEL COMPRESOR.....	48
2.3.1. SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR.....	48
2.3.2. TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN.....	49
2.3.3. ARRANQUE DEL COMPRESOR.....	51
2.4. SELECCIÓN DEL CONDENSADOR.....	54
2.5. RESISTENCIAS DE DESHIELO.....	55
2.6. VENTILADOR PARA RENOVACION DE AIRE.....	57
2.7. VENTILADORES DE DOSIFICACIÓN.....	57
2.8. CONTROL DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN.....	58
2.8.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	58
2.8.2. ACONDICIONAMIENTO PARA SENSORES.....	60
2.8.2.1. SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	60
2.8.2.1.1. TRANSDUCTOR DE TEMPERATURA	61
2.8.2.2. SENSOR DE HUMEDAD HS1101.....	65
2.8.2.3. SENSOR DE APERTURA Y CIERRE DE PUERTAS.....	70
2.8.3. CIRCUITO DE POTENCIA.....	72

2.9. COMPARTIMENTO MECÁNICO.....	76
2.10. EQUIPOS DE CONTROL.....	76
2.10.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	77
2.10.2. PANEL DE OPERADOR.....	79
2.10.3. MÓDULO DE AMPLIACIÓN EM235.....	80
2.10.4. CABLE MULTIMAESTRO USB/PPI.....	81
2.10.5. CABLE DE RED PROFIBUS.....	81
2.11. TABLERO DE CONTROL.....	85
3. CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	86
3.1. STEP 7-MICRO/WIN SP9.....	86
3.2. COMUNICACIONES EN RED.....	89
3.2.1. MAESTRO.....	89
3.2.2. ESCLAVO.....	89
3.2.3. PROTOCOLOS PARA LA COMUNICACIÓN EN RED.....	89
3.2.3.1. PROTOCOLO MULTIMAESTRO PPI.....	90
3.2.4. SELECCIÓN DE LA INTERFACE DE COMUNICACIÓN.....	91
3.2.5. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y DIRECCIÓN DEL STEP 7.....	92
3.2.6. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y DIRECCIÓN DEL S7-200.....	93
3.3. WINCC FLEXIBLE 2008.....	94
3.3.1. CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO.....	96
3.3.2. CONEXIÓN ENTRE EL S7-200 Y EL OP73MICRO.....	99
3.3.3. CREACIÓN DE IMÁGENES.....	99
3.3.4. CREACIÓN DE VARIABLES.....	100
3.4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	101
3.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA.....	101
3.4.2. ADQUISICIÓN DE DATOS DE HUMEDAD.....	103
3.4.3. CONTROL ON OFF PARA LA TEMPERATURA.....	106
3.4.4. REGISTRO DE DATOS.....	107
3.4.5. PROGRAMA DE CONTROL.....	109
3.4.5.1. SUBROUTINA PRINCIPAL.....	110
3.4.5.2. MANDO MANUAL.....	111

3.4.5.3. MANDO AUTOMÁTICO.....	112
3.4.5.4. LENGUAJE ESTRUCTURADO.....	114
4. CAPÍTULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	121
4.1. PRUEBAS PARA LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	121
4.2. PRUEBA PARA EL SET POINT DE TEMPERATURA.....	126
4.3. RELACIÓN DE TEMPERATURAS.....	127
4.4. PRUEBAS PARA LAS RESISTENCIAS DE DESHIELO.....	128
4.5. PRUEBA PARA LOS SENSORES DE PUERTAS.....	131
4.6. COMPARACIÓN CON OTROS REFRIGERADORES COMERCIALES.....	132
5. CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
5.1. CONCLUSIONES.....	134
5.2. RECOMENDACIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
ANEXOS.....	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Calor Específico.....	4
Tabla 1.2 Calor Latente de Fusión.....	5
Tabla 1.3 Calor Latente de Evaporación.....	10
Tabla 1.4 Sustitutos de Refrigerantes para Refrigeración Doméstica.....	43
Tabla 2.1 Características del SR-L628EV.....	44
Tabla 2.2 Diagnóstico inicial de Módulo de Refrigeración.....	46
Tabla 2.3 Compresores según el torque de arranque.....	47
Tabla 2.4 Compresores según la Temperatura de Evaporación.....	48
Tabla 2.5 Compresor Hermético FF 11.5BK de Embraco.....	49
Tabla 2.6 Características Eléctricas de las Resistencia de deshielo.....	55
Tabla 2.7 Nomenclatura para los transductores de temperatura.....	60
Tabla 2.8 Nomenclatura para los transductores de humedad.....	64
Tabla 2.9 Valores de R1 y R2 para una frecuencia nominal.....	66
Tabla 2.10 Funcionamiento de las puertas.....	70
Tabla 2.11 Elementos del módulo de refrigeración.....	72
Tabla 2.12 Clasificación de los elementos.....	72
Tabla 2.13 Alimentación de voltaje para los sensores.....	73
Tabla 2.14 Número de entradas y salidas del PLC.....	76
Tabla 2.15 Comparación entre las diferentes CPUs.....	78
Tabla 2.16 Interruptores de configuración del EM235.....	80
Tabla 2.17 Asignación de pines para el conector de RS-485 a USB.....	81
Tabla 3.1 Direcciones estándar de los equipos S7-200.....	90
Tabla 3.2 Descripción de parámetros.....	100
Tabla 3.3 Tabulación de datos.....	101
Tabla 3.4 Contadores rápidos.....	102
Tabla 3.5 Respuesta de Humedad Relativa vs. Frecuencia.....	104
Tabla 4.1 Dimensiones físicas del Módulo.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Cambios de Estado.....	6
Figura 1.2 Temperatura - Tiempo para el Proceso de Condensación.....	7
Figura 1.3 Temperatura - Tiempo para el Proceso de Evaporación.....	8
Figura 1.4 Procesos de Evaporación y Condensación.....	11
Figura 1.5 Curva de Saturación Líquido-Vapor.....	12
Figura 1.6 Correspondencia entre una Presión y una Temperatura.....	12
Figura 1.7 Procesos del Ciclo de Refrigeración.....	17
Figura 1.8 Elementos Principales del Sistema de Refrigeración.....	20
Figura 1.9 Estados del refrigerante dentro del Evaporador.....	25
Figura 1.10 Filtro Deshidratador.....	32
Figura 1.11 Acumulador de Succión.....	34
Figura 1.12 Diagrama Entálpico P vs. H.....	39
Figura 1.13 Tipo de Líneas en un Diagrama Entálpico.....	40
Figura 1.14 Representación Esquemática de las capas.....	43
Figura 2.1 Partes Internas del SR-L628EV.....	45
Figura 2.2 Dimensiones del Compresor Embraco FF11.5BK.....	49
Figura 2.3 Compresor Embraco FF11.5BK.....	49
Figura 2.4 Ventilador de Enfriamiento para el Compresor.....	50
Figura 2.5 Relé de Arranque Embraco.....	51
Figura 2.6 Protector de Sobrecarga de $\frac{3}{4}$	51
Figura 2.7 Capacitor de Arranque 480 [μ F].....	51
Figura 2.8 Identificación de los terminales del compresor.....	52
Figura 2.9 Esquema Eléctrico de Conexión para el Compresor.....	53
Figura 2.10 Conexión Eléctrica del Compresor.....	53
Figura 2.11 Condensador Samsung DA73-10301A.....	54
Figura 2.12 Resistencias de deshielo en el Refrigerador.....	55
Figura 2.13 Resistencias de deshielo en el Congelador.....	55
Figura 2.14 Swing Motor.....	56
Figura 2.15 Ventilador del refrigerador.....	57

Figura 2.16 Ventilador del congelador.....	57
Figura 2.17 Diagrama de Bloques de la Fuente de Alimentación.....	58
Figura 2.18 Diseño de la Fuente de Alimentación.....	58
Figura 2.19 Sensor de Temperatura LM35.....	60
Figura 2.20 Configuración del LM35.....	61
Figura 2.21 Seguidor de Voltaje con LM741.....	62
Figura 2.22 Diseño del Transductor de Temperatura.....	62
Figura 2.23 Transductor de Temperatura en el refrigerador.....	63
Figura 2.24 Transductor de Temperatura en el congelador.....	63
Figura 2.25 Sensor de Humedad HS1101.....	64
Figura 2.26 Respuesta Típica de Capacitancia del Sensor HS1101.....	66
Figura 2.27 Configuración astable del 555 utilizando el HS1101.....	66
Figura 2.28 Salida del multivibrador astable con el 555 utilizando el HS1101.....	67
Figura 2.29 Diseño del transductor de temperatura y humedad.....	68
Figura 2.30 Transductor de T. y H. en el refrigerador.....	68
Figura 2.31 Transductor de T. y H. en el congelador.....	69
Figura 2.32 Switch para el control de puertas.....	69
Figura 2.33 Control de apertura y cierre de puertas.....	70
Figura 2.34 Seguidor de Voltaje.....	71
Figura 2.35 Lámpara Osram Dulux.....	71
Figura 2.36 Diseño del circuito de potencia.....	74
Figura 2.37 Placa de potencia.....	74
Figura 2.38 Compartimento Mecánico.....	75
Figura 2.39 PLC s7-200 de Siemens.....	77
Figura 2.40 Panel de Operador OP73micro.....	79
Figura 2.41 Módulo de ampliación EM235.....	79
Figura 2.42 Cable Multimaestro USB-PPI.....	81
Figura 2.43 Conector Profibus sin puerto de programación.....	82
Figura 2.44 Conector Profibus con puerto de programación.....	82
Figura 2.45 Cable Profibus.....	82
Figura 2.46 Fijación del cable Profibus a los conectores.....	83

Figura 2.47 Cable de Red Profibus.....	83
Figura 2.48 Polarización y cierre del cable de red.....	84
Figura 2.49 Tablero de Control.....	84
Figura 3.1 STEP 7-Micro/WIN SP9.....	85
Figura 3.2 Red multimaestro PPI.....	90
Figura 3.3 Interfaz de comunicación.....	91
Figura 3.4 Configuración de Step 7-Micro/WIN.....	92
Figura 3.5 Configuración del S7-200.....	92
Figura 3.6 Comunicación entre Step 7-Micro/WIN y el S7-200.....	93
Figura 3.7 Ediciones de WinCC Flexible.....	94
Figura 3.8 Creación de un nuevo proyecto.....	95
Figura 3.9 Conexión entre el PLC y el Panel de Operador.....	96
Figura 3.10 Selección del Panel de Operador.....	96
Figura 3.11 Ventanas de WinnCC Flexible.....	97
Figura 3.12 Configuración del Panel de Operador.....	98
Figura 3.13 Creación de Imágenes.....	99
Figura 3.14 Creación de Variables.....	99
Figura 3.15 Escalado Bipolar.....	100
Figura 3.16 Respuesta de Humedad Relativa vs. Frecuencia.....	105
Figura 3.17 Control de temperatura On Off.....	106
Figura 3.18 Asistente de registro de datos.....	107
Figura 3.19 Diagrama de flujo.....	112
Figura 4.1 Transductores en el Módulo de Refrigeración.....	120
Figura 4.2 Temperatura y Humedad en el Refrigerador.....	121
Figura 4.3 Temperatura y Humedad en el Congelador.....	122
Figura 4.4 Vistas del Módulo de Refrigeración.....	124
Figura 4.5 Set Point de Temperatura.....	125
Figura 4.6 Variación de Temperatura en el Congelador.....	126
Figura 4.7 Variación de Temperatura en el Refrigerador.....	127
Figura 4.8 Resistencias de deshielo en el Congelador.....	128
Figura 4.9 Resistencias de deshielo en el Refrigerador.....	129

Figura 4.10 Lámpara del Congelador.....	130
Figura 4.11 Lámpara del Refrigerador.....	132

RESUMEN

El empleo de temperaturas suficientemente bajas, pero por encima del punto de congelación, puede resultar un tratamiento satisfactorio para la conservación de alimentos que mantienen su actividad fisiológica, como las frutas y las hortalizas. En este caso los procedimientos vitales como la respiración, la transpiración, etc. se mantendrán a un nivel mínimo de actividad. En este rango de temperaturas también se pueden conservar productos sin actividad fisiológica propia, como pueden ser la carne, la leche, los huevos etc., con el objetivo de prolongar su vida útil por un periodo relativamente breve, pero manteniendo las características del producto original.

Para la conservación de mayor duración, la congelación es el método más satisfactorio. Las bajas temperaturas que generalmente se recomiendan ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) inhiben la actividad de los microorganismos y reducen la velocidad de las reacciones lo cual, junto con la reducción en la actividad de agua debida a su conservación en hielo, consigue mantener la calidad y el valor nutritivo de los alimentos, que únicamente presentan diferencias con respecto a los frescos en cuanto a su textura.

Con el fin de conocer y entender como los Refrigeradores Comerciales cumplen con estos objetivos, se ha diseñado y construido un Módulo de Refrigeración, aprovechando la existencia en un Refrigerador Samsung SR-L628EV, en el Laboratorio de Instrumentación Industrial, también se ha investigado y estudiado acerca de los procesos del ciclo de refrigeración y los principales elementos de un sistema de refrigeración doméstico.

El sistema de control, cuenta con una interfaz hombre-máquina para su manejo, una generación de reportes de datos recolectados en Excel y un respaldo de información en un cartucho de memoria extraíble. El registro de datos se realiza cada 15 segundos

Las variables físicas recolectadas por el sistema de control son: temperatura y humedad relativa, a través del PLC S7-200 de Siemens y su módulo de ampliación de entradas análogas.

El monitoreo de datos se realiza con la ayuda de un Panel de Operador OP73 micro de Siemens, mediante comunicación Profibus el mismo que cumple con la Norma IEC 61158/EN 50170.

El sistema construido es capaz de controlar la temperatura entre un valor de 15°C y un valor de -21°C. El sistema permite simular diferentes ambientes, como por ejemplo ciclos de deshielo, gracias a que cuenta con ventiladores de dosificación, ventiladores de renovación de aire y resistencias de deshielo.

PRESENTACIÓN

En esta tesis se ha diseñado y construido un Módulo Didáctico de Refrigeración, para el Laboratorio de Instrumentación Industrial. Se pretende que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conozcan como funcionan los refrigeradores comerciales.

El presente proyecto está dividido en 5 capítulos, los cuales se presenta a continuación:

En el primer capítulo, Marco Teórico, se detallan tres partes, los conceptos básicos de la Termodinámica, el estudio de los procesos de refrigeración, y el estudio de los elementos de un Sistema de Refrigeración Doméstico.

En el segundo capítulo, Diseño y Construcción, se realiza una valoración inicial del Refrigerador Samsung SR-L628EV, para determinar en que estado se encuentran los elementos del Sistema. Se realiza una descripción general de todos los componentes de hardware, así como el detalle de los sensores utilizados, el diseño y la construcción de transductores de temperatura y humedad.

En el tercer capítulo, Desarrollo del Software, se detallan los programas utilizados y la configuración de ellos para realizar la comunicación de los equipos de control. También se explica el desarrollo de los programas implementados, mediante la utilización de diagramas de flujo, así como el acondicionamiento para los sensores, los mismos que fueron hechos mediante programación.

En el cuarto capítulo, Pruebas y Resultados, se desarrollan las diferentes pruebas para los sensores utilizados y se simulan diferentes ambientes dentro del Módulo de Refrigeración con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento de los elementos. Además en este capítulo se realiza las pruebas generales para la recolección de datos de temperatura y humedad y presentados en Microsoft Excel.

En el quinto capítulo, Pruebas y Resultados, se especifican las conclusiones y recomendaciones, donde se toma en cuenta la construcción del Módulo de Refrigeración y las pruebas que se le han hecho, para redactarlas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

En los refrigeradores comerciales no solo se controla la temperatura, sino también el flujo de aire y la humedad relativa, de tal manera que se puedan lograr diferentes ambientes dentro del equipo. Puesto que no se conoce a profundidad como se logra crear estos ambientes, y aprovechando la existencia de un equipo de tales características en el Laboratorio de Instrumentación Industrial, se busca diseñar un módulo didáctico que muestre las variables de temperatura y humedad que aparecen en el mismo. El objetivo es enseñar a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Electrónica y Control, como operan los refrigeradores comerciales y poner en práctica los conocimientos teóricos sobre Instrumentación Industrial. El módulo estará dotado de un sistema de control y adquisición de datos mediante los cuales y gracias a una HMI, se podrá visualizar y controlar las variables físicas que intervienen en el proceso de refrigeración.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un módulo didáctico de refrigeración basado en un refrigerador comercial Samsung SR-L628EV, orientado al estudio del sistema mecánico y electrónico que componen los refrigeradores comerciales

1.2 ESTADOS FISICOS DE UNA SUSTANCIA PURA

La materia puede existir en la naturaleza a la temperatura y presión de la superficie terrestre en tres formas físicas distintas, que se denominan estados físicos de la materia o fases de una sustancia.

- Sólido

- Líquido
- Gas

1.2.1 SÓLIDO

Un sólido es cualquier sustancia física que conserva su forma incluso cuando no se encuentra en un envase.

Esta característica se debe a que moléculas en un sólido se encuentran a muy poca distancia entre sí; además, las fuerzas de atracción entre ellas son grandes y las mantienen en posiciones fijas. Las fuerzas de atracción generan, a la vez, fuerzas de repulsión, que ayudan a mantener las distancias entre las moléculas evitando que se apilen unas sobre otras.

1.2.2 LÍQUIDO

Una sustancia líquida se caracteriza porque adopta libremente la forma de su envase.

En este caso, el espacio intermolecular es parecido al del estado sólido, con la diferencia de que ya no mantienen posiciones fijas entre sí, sino los grupos de moléculas flotan unos en torno de otros.

1.2.3 GAS

Un gas es una sustancia que debe ser encerrada en un recipiente sellado para evitar que se escape a la atmósfera.

Las moléculas de una sustancia gaseosa están bastante apartadas unas de otras y, a diferencia de los sólidos y líquidos, no guardan ningún orden.

Las moléculas que componen la sustancia, se mueven al azar y chocan entre sí y con las paredes del envase que las contiene.

Además de estas tres fases principales una sustancia puede tener más fases dentro de una de estas fases principales, como puede ser el caso del carbón, que en su fase sólida puede existir como grafito o como diamante.

1.3 CALOR ESPECÍFICO

El calor específico de un cuerpo es la cantidad de calor que hace falta suministrar a la unidad de masa de ese cuerpo para elevar su temperatura un grado Kelvin o un grado Centígrado.

El calor específico de un cuerpo puede ser hallado despejando de la fórmula siguiente:

$$Q = c * m(t_2 - t_1)$$

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

donde:

t_2 y t_1 son las temperaturas inicial y final del cuerpo en °K o en °C (pero siempre en las mismas unidades ambas).

Q es el calor aportado a la sustancia en J

c es el calor específico del cuerpo en J/kg*°K ó J/kg*°C

m es la masa del cuerpo considerado en kg

En la Tabla 1.1 se lista el calor específico de los materiales más usados:

CALORES ESPECÍFICOS	
CUERPO	C (kJ/kg*°K)
Agua	4,185
Alcohol	2,469
Hielo	2,093
Cristal	0,837
Hierro	0,465
Cobre	0,397
Mercurio	0,138
Plomo	0,120

Tabla 1.1 Calor específico de algunos materiales

Como dato informativo, cabe destacar, que el agua posee el calor específico más alto de todos los cuerpos, es decir que su calentamiento o enfriamiento se producen más despacio.

Para sólidos y líquidos el calor específico es independiente de la temperatura, pero en el caso de los gases, el calor específico si varía con la temperatura.

1.4 CALOR LATENTE

Se denomina calor latente a la cantidad de calor que hay que suministrar o extraer a la unidad de masa de un cuerpo para provocar en él un cambio de estado, sin que esto provoque un cambio de temperatura.

Este aporte de calor produce un cambio de estado pero no de temperatura. Este tipo de proceso se denomina endotérmico.

Así pues, se definen distintos tipos de calor latente correspondientes a distintos cambios de estado:

- Calor latente de solidificación: Es la cantidad de calor que es necesario extraer de un cuerpo líquido para que pase a estado sólido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- Calor latente de fusión: Es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un cuerpo sólido para que pase a estado líquido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- Calor latente de evaporación: Es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un cuerpo líquido para que pase a estado gas sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- Calor latente de condensación o licuefacción: Es la cantidad de calor que es necesario extraer de un cuerpo en estado gaseoso para que pase a estado sólido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.

En La Tabla 1.2 se lista el calor latente de fusión de los materiales más usados:

CALOR LATENTE DE FUSIÓN	
CUERPO	kJ/kg
Hielo	335
Aluminio	335
Anhídrido carbónico	184
Cobre	180
Glicerina	176
Plomo	23
Mercurio	12

Tabla 1.2 Calor latente de fusión de algunos materiales

En procesos frigoríficos, son útiles los fluidos con un elevado calor latente, que se traduce en una elevada capacidad de absorción de calor para obtener su evaporación a la temperatura deseada.

1.5 CALOR SENSIBLE

El calor sensible es la cantidad de calor que extraída o aportada a un cuerpo es capaz de hacer que su temperatura disminuya o aumente respectivamente, sin que se produzca ningún cambio de fase en el cuerpo.

Este cambio de temperatura es función de la cantidad de calor intercambiado y de una característica física del cuerpo en cuestión: el calor específico.

1.6 CAMBIOS DE ESTADO FÍSICO

En un cuerpo sus moléculas se ordenan de una forma o de otra en función de la velocidad o cantidad de energía (calor) que posean. Esta ordenación será la que determine el estado físico de ese cuerpo.

Si se quita o añade calor del cuerpo en cuestión, la velocidad o energía de sus moléculas, así como su ordenación, cambiarán. Si la adición o sustracción de calor continua, llegará un momento que las variaciones en la velocidad y en la ordenación de sus moléculas habrán cambiado tanto que se producirá un cambio de estado físico en el cuerpo, también denominado cambio de fase.

Los cambios de fase se indican en la siguiente figura:

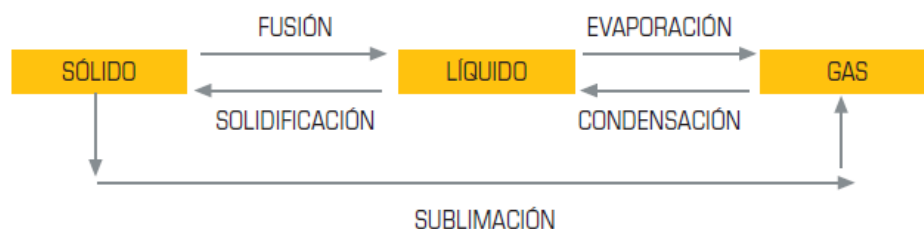


Figura 1.1 Cambios de estado físico

Todos los cambios de fase que supongan cambiar de un estado que está a la izquierda a un estado que está a la derecha, suponen una aportación de calor. Y todos los cambios de fase que supongan cambiar de un estado que esté a la derecha a otro que se encuentre a su izquierda, supone una cesión de calor por parte de la sustancia.

1.6.1 CONDENSACIÓN

La Condensación se define como el paso de una sustancia que está en estado gas a estado líquido.

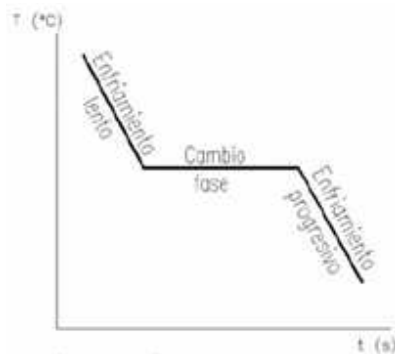


Figura 1.2 Temperatura vs. tiempo para el proceso de condensación

Este cambio de estado se puede producir por dos razones:

- Por enfriamiento, es decir, por extracción de calor, hasta la temperatura correspondiente a la tensión o presión de vapor saturado del líquido considerado.
- Por compresión a una tensión igual a la presión de vapor saturado del fluido a la temperatura considerada.

1.6.2 EVAPORACIÓN

La evaporación es el cambio de estado físico de un cuerpo que consiste en el paso de estado líquido a gaseoso.

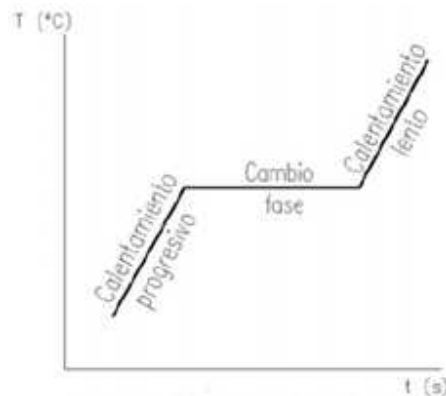


Figura 1.3 Temperatura vs. tiempo para el proceso de evaporación

Cuando se añade calor a una sustancia, su temperatura aumenta hasta el momento que comienza la ebullición, entonces, el aumento de temperatura se detiene, invirtiendo todo el calor que se le siga suministrando únicamente en realizar el cambio de fase, pasando progresivamente de líquido a gas. Durante este proceso progresivo, hay una mezcla de líquido-vapor en distintas proporciones. Esta mezcla recibe el nombre de mezcla saturada líquido-vapor y el vapor existente en la mezcla, vapor saturado.

El proceso continua hasta el instante en que la última gota de líquido pasa a estado gas. En este momento cualquier extracción de calor haría que el vapor volviera a generar gotas de líquido.

Si se pasa este punto y se continúa calentando el vapor generado, la temperatura empieza a subir de nuevo, y se obtendrá vapor seco.

Por lo tanto se distinguen dos tipos de vapor:

- Vapor seco: es aquel que se encuentra en condiciones diferentes al cambio de fase, es decir, es aquel que no está a punto de generar líquido y se conoce como gas.
- Vapor saturado: es aquel que se encuentra en equilibrio con el líquido que lo produce. La naturaleza de cada sustancia determina su presión o tensión de

saturación, que es la presión a la que empieza a hervir a una temperatura dada. De la misma forma se define la temperatura de saturación, que será aquella en que una sustancia comienza a hervir, dada una presión. La presión máxima de saturación del vapor saturante de un cuerpo simple aumenta con la temperatura.

La evaporación de un líquido se detiene cuando la presión del vapor alcanza el valor máximo de la tensión del vapor saturante a la temperatura que se esté considerando. En el caso de que se evapore todo el líquido antes de alcanzar el valor de presión máxima, la evaporación del líquido es total y el vapor resultante es vapor seco.

El proceso de evaporación comienza de forma progresiva hasta que se alcanza la temperatura de saturación, es decir, el momento en que el calor que se sigue aportando no provoca cambios en la temperatura, sino que se emplea en el cambio de fase. En este momento se produce un fenómeno en el líquido que consiste en la formación de grandes burbujas de vapor que llegan a la superficie líquido haciendo que se agite y se aumenta considerablemente la velocidad de evaporación.

Este fenómeno se denomina ebullición y la temperatura fija en que se produce (a una presión dada), se denomina temperatura de ebullición.

Un líquido siempre entra en ebullición a la temperatura bajo la cual su presión de vapor saturante es igual a la presión soportada por dicho líquido.

Las condiciones exteriores a la sustancia que se evapora influyen en el proceso de la siguiente forma:

- En el vacío la evaporación de una sustancia es instantánea.
- Dentro de un gas soluble en la sustancia líquida la evaporación es progresiva.
- Dentro de un gas no soluble en la sustancia líquida la presión del vapor saturante es la misma que en el vacío.

- El proceso de evaporación se localiza en la superficie del líquido que se evapora y hacen que la velocidad de proceso aumente cuando, aumenta la superficie de contacto del líquido con el aire, o cuando aumenta la velocidad de circulación del aire que está en contacto con la superficie del líquido o cuando aumenta la temperatura del líquido o disminuye la presión en su entorno.

El calor latente de evaporación se define como la cantidad de calor necesaria para hacer que la unidad de masa de una sustancia pase de estado líquido a gaseoso sin que su temperatura varíe.

En la Tabla 1.3 se indican el calor latente de evaporación IV, de algunas sustancias a su temperatura de evaporación, TV, bajo presión atmosférica:

CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN		
SUSTANCIA	TV (°C)	IV (kJ/kg)
Refrigerante 12	-30	167
Refrigerante 22	-40	234
Éter	+35	376,5
Benceno	+80	876,5
Cloruro de metilo	-23	431
Alcohol	+78	904
Amoníaco	-33	1427
Agua	+100	2247,5

Tabla 1.3 Calor latente de algunas sustancias

1.6.3 SATURACIÓN

La saturación hace referencia a una parte de los procesos de evaporación o condensación.

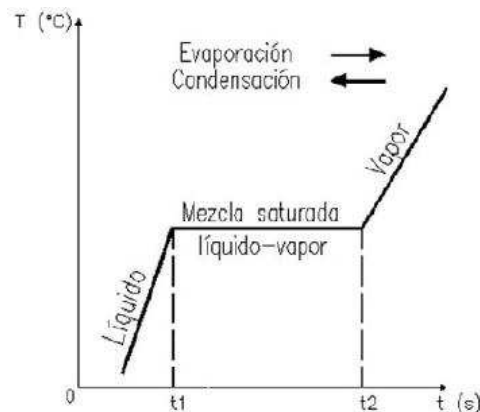


Figura 1.4 Diagrama para procesos de evaporación y condensación

En concreto hay tres conceptos a observar: líquido saturado, vapor saturado y mezcla saturada líquido-vapor.

Líquido saturado: esta condición se da cuando una sustancia ha absorbido calor hasta el límite que marca el punto t_1 de la figura. Cuando la mezcla alcanza este punto se dice que se tiene líquido saturado y cualquier adición de calor provoca la evaporación de una parte del mismo.

Vapor saturado: cuando la temperatura de una sustancia gaseosa baja, debido a una cesión o extracción de calor, hasta un punto en el que cualquier pérdida de calor supondría la condensación de una parte del vapor, se dice que se ha llegado a la condición de vapor saturado. Esta condición coincide con el punto t_2 de la gráfica.

Como se refleja en la gráfica la temperatura del líquido saturado y la del vapor saturado de una sustancia son las mismas dada una presión.

Mezcla saturada líquido-vapor: esta condición se da en una sustancia cuando se encuentra entre los puntos t_1 y t_2 , es decir, cuando el líquido y el vapor coexisten en equilibrio. Durante esta parte del cambio de fase la temperatura permanece constante ya que toda la aportación o substracción de calor se emplea en realizar el cambio de fase, ya sea de sólido a líquido o viceversa.

El diagrama presión vs. temperatura (Figura 1.5) muestra la forma de la curva de saturación de una sustancia.

Se distinguen tres partes: zona de líquido, zona vapor, y curva líquido-vapor.



Figura 1.5 Curva de saturación líquido-vapor

Conociendo la curva de una sustancia y la correspondencia entre una presión y temperatura dada o viceversa, se puede saber si dicha sustancia se encuentra en estado líquido, vapor o si se trata de una mezcla líquido-vapor

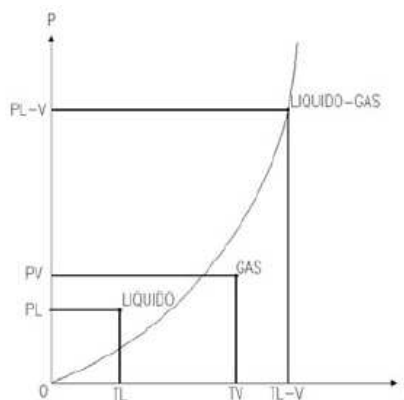


Figura 1.6 Correspondencia entre presión y temperatura

Otros datos que se pueden hallar a partir de la curva son la temperatura de saturación correspondiente a una presión y la presión de saturación para una temperatura.

1.7 INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN

La refrigeración se define como el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o materia por debajo de la temperatura del entorno.

La refrigeración es una parte de la climatización, ya que al climatizar, además de controlar la temperatura del aire en el proceso de tratamiento, también se controla la humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado.

Para poder reducir la temperatura, es necesario extraer el calor contenido en el espacio o materia que se desea refrigerar, y para extraer el calor de un cuerpo es necesaria la presencia de otro cuerpo más frío (temperatura inferior) que absorba el calor que se desea eliminar.

El cuerpo que se utiliza para absorber el calor que se desea eliminar se llama refrigerante.

Un refrigerante es un calorífero que desplaza el calor de un espacio que se debe refrigerar, hacia el exterior. Es el fluido operante en el ciclo de refrigeración.

Cada vez que el refrigerante completa un ciclo, sufre dos cambios de estado, se evapora y se condensa, estos dos cambios de estado son necesarios para poder desplazar el calor del espacio que se desea refrigerar hacia el exterior.

Estos cambios de estado no se pueden producir sin que fluya calor del cuerpo más caliente hacia el cuerpo más frío, es decir, del cuerpo a mayor temperatura hacia el cuerpo a menor temperatura. Esto significa que para que los cambios de estado en el refrigerante se produzcan es muy importante a qué temperatura se producen, para saber si la absorción de calor en la evaporación y la cesión de calor en la condensación se pueden llevar a cabo.

Esto lleva a recordar el concepto de temperatura de saturación: temperatura a la cual un líquido se transforma en vapor, o un vapor se transforma en líquido, es decir la temperatura a la que se produce la evaporación y la condensación del refrigerante, independiente para cada sustancia, y variable con la presión a la que se encuentra sometida la sustancia. Cuando aumenta la presión, aumenta la temperatura de saturación.

El objetivo es refrigerar un espacio, para ello se debe extraer calor del espacio, utilizando un fluido llamado refrigerante; el refrigerante absorbe el calor del espacio mientras se evapora (absorbe el calor latente del refrigerante), con lo cual el calor debe fluir del espacio que se quiere refrigerar hacia el refrigerante. Es decir, interesa que el refrigerante utilizado se evapore a temperaturas más bajas que a la temperatura a la que se encuentra el espacio que se va a refrigerar.

Interesa que las sustancias utilizadas como refrigerantes tengan temperaturas de saturación muy bajas, por debajo de cero para que la temperatura que se quiera alcanzar en el espacio a refrigerar siempre sea superior a la temperatura de saturación del refrigerante, y el flujo de calor siempre vaya del espacio hacia el refrigerante.

Lo contrario ocurre en la condensación del refrigerante. Como en la condensación el refrigerante cede calor, para volver a su estado líquido, el refrigerante debe encontrar un cuerpo más frío que él para poder condensarse. Pero la temperatura de saturación es la misma para evaporar que para condensar, y se ha dicho que interesa sustancias con temperaturas de saturación muy bajas para producir la evaporación del refrigerante. Entonces, ¿Cómo se condensará el refrigerante, para volver a evaporarlo y continuar extrayendo calor del espacio a refrigerar? Si, además, el calor del refrigerante se va a ceder al exterior que se supone, está a más temperatura que el espacio que se está refrigerando.

La solución es la siguiente: se aumenta la presión a la que se encuentra sometido el refrigerante hasta el punto en que la temperatura de saturación del refrigerante es mayor que la temperatura exterior, convirtiendo al refrigerante en el cuerpo caliente en su punto de condensación, y el exterior que rodea el espacio a refrigerar en el cuerpo frío, absorbiendo el calor que necesita ceder el refrigerante para condensarse y volver a su estado líquido para iniciar otra vez el ciclo de refrigeración.

Entre la condensación y evaporación en el ciclo de refrigeración, se debe reducir la presión a la que se encuentra sometido el refrigerante, para que la temperatura de saturación descienda y la evaporación del refrigerante vuelva a producirse.

1.7.1 PROCESOS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

El refrigerante circula por el sistema y pasa por diversos cambios de estado y condición; cada uno de esos cambios se denomina un proceso. El refrigerante comienza en un estado o condición inicial, pasa por una serie de procesos según una secuencia definida, y vuelve a su condición inicial. Esta serie de procesos se denomina ciclo de refrigeración. El ciclo de refrigeración simple se compone de cuatro procesos fundamentales:

- Expansión.
- Evaporación.
- Compresión.
- Condensación.

1.7.1.1 Expansión

Este proceso ocurre en el control de flujo de refrigerante. El refrigerante líquido a temperatura y presión altas fluye del receptor por el tubo del líquido hacia el control de flujo del refrigerante, de tal forma que a la salida, la presión del líquido se ha reducido lo

suficiente para que la temperatura de saturación del refrigerante que entra en el evaporador sea inferior a la temperatura del ambiente refrigerado.

Una parte del líquido se evapora en el control de flujo de refrigerante para reducir la temperatura del líquido hasta la temperatura de evaporación.

1.7.1.2 Evaporación

En el evaporador, el líquido se evapora a una temperatura y presión constantes, mientras el calor necesario para el suministro de calor latente de evaporación pasa de las paredes del evaporador hacia el líquido que se evapora.

Todo el refrigerante se evapora en el evaporador y se calienta en el extremo del evaporador. Pese a que la temperatura del vapor aumenta un poco en el extremo del evaporador debido al recalentamiento, la presión del vapor no varía.

Aunque el vapor absorbe el calor del aire que rodea la línea de aspiración, que aumenta su temperatura y disminuye ligeramente su presión debido a la pérdida por fricción en la línea de aspiración, estos cambios no son importantes para la explicación de un ciclo de refrigeración simple.

1.7.1.3 Compresión

Por la acción del compresor, el vapor que resulta de la evaporación se lleva por la línea de aspiración desde el evaporador hacia la entrada de aspiración del compresor.

En el compresor, la temperatura y presión del vapor aumentan debido a la compresión. El vapor de alta temperatura y alta presión se descarga del compresor en la línea de descarga.

1.7.1.4 Condensación

El vapor fluye por la línea de descarga hacia el condensador donde evacua calor hacia el aire relativamente frío que el ventilador del condensador hace circular a través del condensador. Cuando el vapor caliente evacua calor hacia el aire más frío, su temperatura se reduce a la nueva temperatura de saturación que corresponde a la nueva presión, y el vapor se condensa, volviendo así al estado líquido. Antes de que el refrigerante alcance el fondo del condensador, se condensa todo el vapor y luego se subenfía. A continuación, el líquido subenfriado pasa al receptor y queda listo para volver a circular.

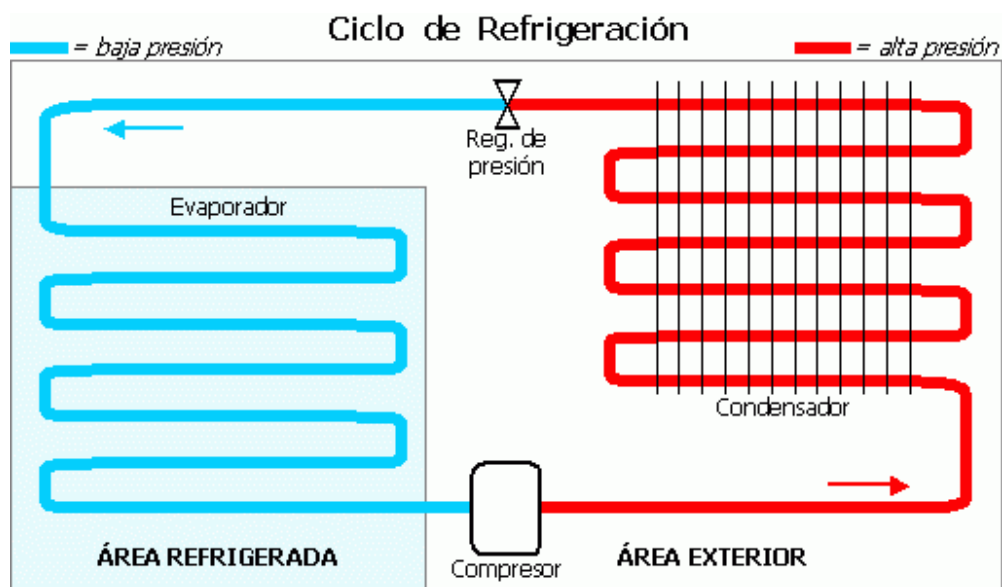


Figura 1.7 Procesos del ciclo de refrigeración

1.8 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

Las piezas principales del sistema de refrigeración se mencionan a continuación:

Receptor: Su función consiste en proporcionar el almacenamiento para el líquido procedente del condensador para que haya un suministro constante de líquido para el evaporador, según las necesidades del mismo.

Línea de líquido: Su función consiste en llevar el refrigerante líquido desde el receptor hacia el control de flujo de refrigerante.

Tubo Capilar: Sus funciones consisten en medir la cantidad adecuada de refrigerante que va hacia el evaporador y en reducir la presión del líquido que entra en el evaporador, para que así el líquido se evapore en el evaporador a la temperatura baja deseada.

Evaporador: Su función consiste en proporcionar una superficie de transferencia de calor a través de la cual el calor pasa del ambiente refrigerado al refrigerante evaporado.

Línea de aspiración: Su función consiste en llevar el vapor de presión baja desde el evaporador hacia la entrada de aspiración del compresor.

Compresor: Sus funciones consisten en extraer el vapor del evaporador y en aumentar la temperatura y presión del vapor para que éste pueda condensarse con los medios de condensación normalmente disponibles.

Línea de descarga: Su función es entregar el vapor a presión alta y temperatura alta desde el compresor hasta el condensador.

Condensador: Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor a través de la cual el calor pasa del vapor refrigerante caliente a un medio de condensación.

Un sistema de refrigeración se divide en dos partes según la presión que el refrigerante ejerce en estas dos partes.

Lado bajo: La parte de presión baja del sistema se compone del control de flujo de refrigerante, el evaporador y la línea de aspiración. La presión que ejerce el refrigerante en estas partes es la presión baja necesaria para que el refrigerante se evapore en el evaporador. Esta presión se conoce como “presión baja”, “presión del lado bajo”, “presión de aspiración” o “presión de evaporación”.

Lado alto: La parte de presión alta del sistema se compone del compresor, la línea de descarga, el condensador, el receptor y la línea de líquido. La presión que ejerce el refrigerante en esta parte del sistema es la presión alta necesaria para la condensación del refrigerante en el condensador. Esta presión se llama “presión alta” “presión de descarga” o “presión de condensación”.

Los puntos divisorios entre los lados de presión alta y baja del sistema son el control de flujo de refrigerante, donde la presión del refrigerante se reduce de la presión de condensación a la presión de evaporación, y las válvulas de descarga en el compresor, a través de las cuales el vapor de presión alta se expulsa después de la compresión.

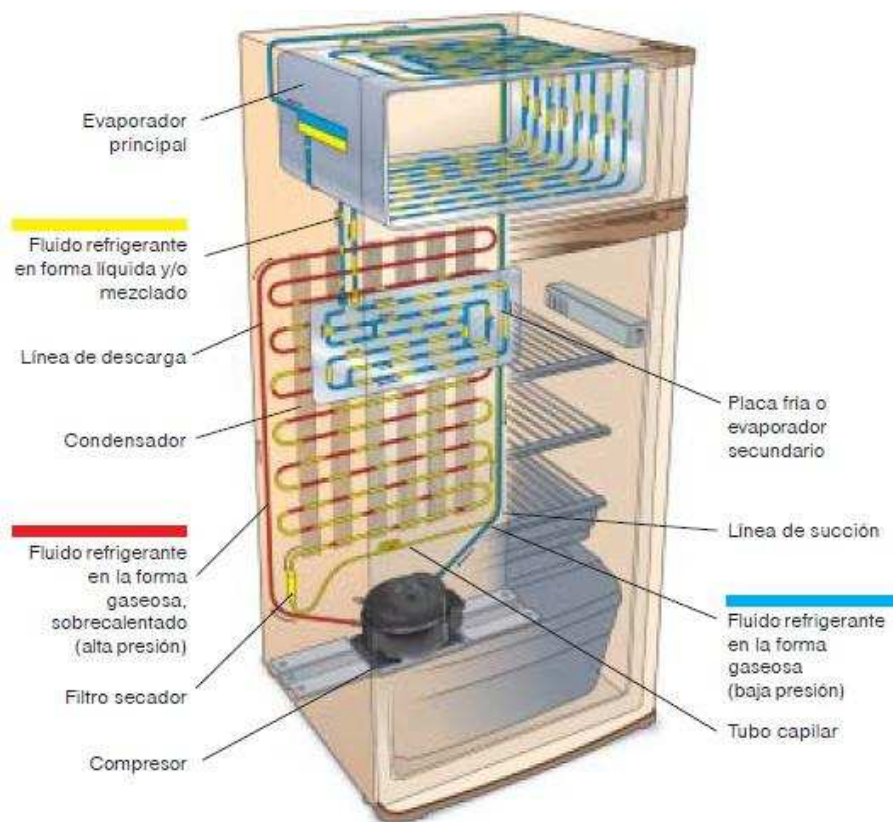


Figura 1.8 Elementos principales del sistema de refrigeración doméstica

1.9 CICLO MECÁNICO DE REFRIGERACIÓN

El ciclo inicia con el fluido en forma de líquido a baja presión. En esas condiciones, el líquido se evapora de modo espontáneo en el interior del evaporador, absorbiendo del local a refrigerar el calor necesario para realizar dicha transformación (calor latente de vaporización).

En modo de vapor, el fluido accede al compresor donde es elevado a altas presiones mediante la compresión que le provoca el elemento mecánico. La compresión también causa un aumento de la temperatura en el gas y en esas nuevas condiciones el gas condensa a líquido si es expuesto a una temperatura inferior. Eso es lo que ocurre en el

condensador, cediendo el calor absorbido en el evaporador al ambiente exterior (calor latente de condensación).

Tras el condensador se tiene líquido a elevada presión. Para volver al estado inicial sólo resta hacer descender la presión del líquido mediante el elemento de expansión (válvula o capilar), descendiendo también en dicha expansión la temperatura del fluido.

1.9.1 COMPRESOR

Este punto se centra en el estudio del compresor frigorífico, porque aunque el evaporador se considera el elemento principal de una instalación frigorífica, como generador de frío, el compresor, junto a la válvula de expansión, es el elemento mecánico más complicado y delicado de la instalación.

El compresor funciona como una bomba que hace circular el refrigerante en el circuito de refrigeración. El compresor aspira los vapores producidos por la evaporación del fluido frigorígeno en el evaporador a una presión débil, correspondiente a las condiciones de funcionamiento, y descarga en el condensador a una presión suficientemente alta para que el fluido condense a la temperatura de las fuentes naturales (aire, agua).

1.9.1.1 Función del Compresor

El compresor, en un circuito frigorífico, se encarga de poner en circulación el refrigerante y de mantener una diferencia de presiones entre sus terminales. De un lado deberá mantener una presión suficientemente baja en el evaporador, para que el refrigerante se vaporice a la temperatura deseada, y por otro lado, en el condensador, mantenga una presión suficientemente alta para que el refrigerante se condense a la temperatura del medio de enfriamiento, que en caso de este tesis será el aire.

Para ello deberá aspirar los vapores a baja presión procedentes del evaporador, a la misma velocidad que se van produciendo, y comprimirlos para aumentar su presión y temperatura, enviándolos al condensador.

1.9.2 CONDENSADOR

El condensador es el componente del equipo frigorífico encargado de licuar los vapores de refrigerante, a alta presión, procedente del compresor; su fin esencial consiste en el traspaso del flujo calorífico del fluido frigorígeno al medio ambiente.

El medio de condensación ha de ser capaz de tomar del gas refrigerante todo el calor que contiene, que es igual a la suma de calor absorbido en el evaporador y el correspondiente al trabajo mecánico de compresión. El condensador es, en suma, un intercambiador de calor.

Se pueden distinguir tres zonas dentro del condensador:

Zona de enfriamiento: enfriamiento de los vapores desde la temperatura del vapor recalentado hasta la temperatura de condensación (eliminación de calor sensible). Esta fase es muy rápida debido a la gran diferencia de temperatura que existe y se efectúa generalmente en la primera cuarta parte del condensador.

Zona de condensación: cesión de calor latente de condensación a temperatura constante. Esta cesión de calor es muy lenta y necesita las dos cuartas partes siguientes del condensador. Para que esta cesión se realice es necesario un salto de temperaturas importante entre el fluido y el medio de condensación.

Zona de subenfriamiento: enfriamiento del líquido desde su temperatura de condensación hasta la temperatura deseada (líquido subenfriado). Este enfriamiento se realiza en la cuarta y última parte del condensador. El enfriamiento que se consigue es función del salto térmico entre el refrigerante y el medio de condensación.

1.9.2.1 Características del condensador

Los fabricantes de condensadores intentan conseguir el régimen de funcionamiento más económico posible, utilizando la mejor transmisión de calor, intentando conseguir la disminución de la temperatura del refrigerante con un caudal de fluido de enfriamiento mínimo y una mejor utilización de las superficies.

Para conseguir esto el condensador debe cumplir una serie de condiciones:

- Amplia admisión de gas en el aparato.
- Rápida evacuación del líquido al depósito, sin permanencia prolongada en las tuberías.
- Sentido inverso en la marcha del fluido y del agua o del aire en el condensador (contracorriente).
- Gran velocidad del aire o del agua de enfriamiento.

1.9.2.2 Función de Condensador

El condensador expulsa del sistema de refrigeración el calor absorbido por el evaporador y bombeado por el compresor. El condensador recibe el gas caliente que sale del compresor a través de un corto tubo que une el compresor y el condensador y que se denomina *conducto de gas caliente*.

El compresor fuerza al refrigerante caliente a entrar por la parte superior de la bobina del condensador. El gas es empujado a alta velocidad y a alta temperatura.

El refrigerante que entra en el condensador está más caliente, que el aire circundante, por tanto comienza a producirse un intercambio de calor inmediatamente. A medida que el gas se mueve a través el condensador, comienza a entregar calor al aire circundante, lo que origina una disminución en la temperatura del refrigerante. El gas continúa enfriándose hasta que alcanza la temperatura de condensación y el cambio de estado

comienza a producirse. El cambio de estado tiene lugar lentamente al principio, convirtiéndose solo pequeñas cantidades de vapor en líquido, y se acelera a medida que la mezcla de gas y líquido se mueve hacia el extremo final del condensador.

Cuando el refrigerante completa aproximadamente el 90% del recorrido a lo largo del condensador, está casi exclusivamente compuesto por líquido. En este momento se puede extraer aún más calor de dicho refrigerante.

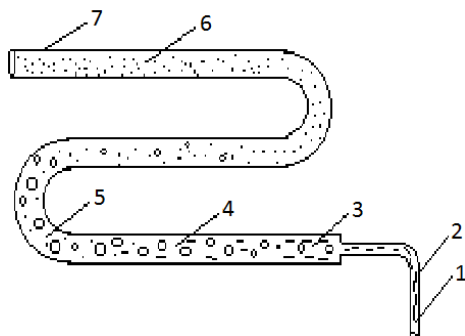
Cuando la temperatura del refrigerante líquido, es más baja que su temperatura de condensación se denomina *subenfriamiento del líquido*.

Cuando el líquido refrigerante es subenfriado antes de que llegue a la válvula de expansión, se incrementa el efecto refrigerante por unidad de masa de fluido refrigerante.

1.9.3 EVAPORADOR

El evaporador es el dispositivo donde se vaporiza por completo el refrigerante, al absorber el calor del espacio circundante, también se le denomina enfriador, debido al enfriamiento que produce la vaporización, y en algunos casos se lo llama congelador, cuando se lo fabrica en forma de poder disponer de temperaturas muy bajas capaces de congelar los alimentos y productos depositados en el recinto a refrigerar.

En la Figura 1.9 se muestran los distintos estados en que el refrigerante puede encontrarse en el interior del evaporador:



1. Líquido a alta presión (línea líquida)
2. Tubo capilar (restringidor)
3. Líquido a baja presión (tubo capilar)
4. Líquido en ebullición (líquido y vapor)
5. Vapor húmedo (vapor y líquido)
6. Vapor Sobrecalentado
7. Línea de succión

Figura 1.9 Estados del refrigerante dentro del evaporador

El líquido que se halla en el interior del condensador, está sometido a la presión de compresión, siendo necesario mantener esta presión para el funcionamiento del sistema.

En consecuencia entre la línea de líquida y la entrada del evaporador se hace necesario intercalar un dispositivo mediante el cual sea posible regular la entrada del líquido, separando los lados de alta y de baja presión exactamente a la entrada del evaporador.

Para lograr esto se recurre a un sistema o dispositivo que regula simultáneamente la cantidad de refrigerante que penetra al evaporador y lo somete a una restricción mediante la cual se hace posible mantener presión elevada en la línea líquida, no obstante estar ésta conectada con el lado de baja del sistema.

En el preciso instante en que el líquido refrigerante a alta presión, pasa a través de la restricción al interior del evaporador que se encuentra a baja presión, el refrigerante se convierte, aun cuando no sea más que por un instante en líquido refrigerante a baja presión. Ello ocurre solamente durante una fracción de segundo, porque enseguida dicha pérdida de presión provoca la inmediata evaporación, con la consiguiente absorción de calor que esa evaporación trae asociada.

Cuando se evapora el líquido, se producen burbujas de vapor, siendo en este instante que se dice que el líquido refrigerante entra en ebullición.

A medida que el refrigerante prosigue su trayectoria a través del evaporador, el estado líquido con burbujas de vapor desaparece, y se transforma en vapor con gotas de líquido, o sea vapor húmedo, esto sucede al alcanzar el 90% del recorrido de la bobina, aproximadamente, habiendo desaparecido todo el líquido y quedando sólo vapor puro. En este preciso momento se tiene vapor saturado. En este punto el vapor comenzaría a condensarse si se eliminara calor, o a sobrecalentarse si se añadiera calor. Cuando un vapor está sobrecalentado, ya no cumple con las relaciones entre presión y temperatura; absorberá calor mensurable y su temperatura se incrementará. El sobrecalentamiento se considera una especie de seguro para la refrigeración, porque asegura que ninguna cantidad de líquido llegue a atravesar el compresor.

1.9.3.1 Recalentamiento del vapor

En el ciclo de refrigeración saturado simple, se supone que el vapor de aspiración llega hasta la entrada del compresor como vapor saturado a la temperatura y presión de evaporación. En la práctica, esto ocurre raras veces. Después de que el refrigerante líquido se ha vaporizado completamente en el evaporador, el vapor saturado frío, continúa, por lo general, absorbiendo calor en el tramo de aspiración, pasando a un estado recalentado antes de llegar al compresor.

Si se desprecia la pequeña caída de presión del vapor en la tubería de aspiración, se podrá suponer que la presión del vapor de aspiración permanece constante durante el recalentamiento.

La potencia requerida por unidad de capacidad refrigerante del ciclo es mayor para el ciclo con recalentamiento que para el ciclo saturado y, además, es menor el rendimiento obtenido.

Esto quiere decir que el compresor, el motor del compresor y el condensador deberán ser mayores para el ciclo con recalentamiento que para el ciclo saturado. Esto significa una mayor inversión inicial en el sistema frigorífico.

Cuando el vapor pasa directamente hasta la aspiración del compresor sin ningún recalentamiento, puede arrastrar pequeñas cantidades de líquido no vaporizado. A este vapor se le llama vapor húmedo. Este vapor húmedo en la aspiración puede causar efectos negativos en la capacidad del compresor, y provocarle daños mecánicos. Ya que el recalentamiento del vapor elimina la posibilidad de existencia de este vapor húmedo en el compresor, es deseable un cierto grado de recalentamiento del mismo.

El efecto del recalentamiento del vapor de aspiración sobre la capacidad del sistema y sobre el coeficiente de operación, depende totalmente de dónde y cómo ocurre el recalentamiento del vapor y de si el calor absorbido por el vapor al recalentarse produce o no enfriamiento útil.

El grado de recalentamiento que se elija en cada caso particular, depende, también, de dónde y cómo ocurra el recalentamiento, así como del refrigerante empleado.

El recalentamiento del vapor en el tramo de aspiración puede ocurrir en los siguientes puntos, o en una combinación de ellos:

- Al final del evaporador.
- En la tubería de aspiración instalada dentro del local refrigerado.
- En la tubería de aspiración situada fuera del espacio refrigerado.
- En un cambiador de calor, tramo de aspiración-tubería de líquido.

Cuando el recalentamiento tiene lugar al fluir el refrigerante por la tubería de aspiración localizada fuera del espacio refrigerado, el calor tomado por el vapor es absorbido del ambiente y no se produce enfriamiento útil. Este recalentamiento del vapor que no produce enfriamiento útil afecta adversamente a la eficacia del ciclo. Es obvio entonces, que el recalentamiento del vapor en la tubería de aspiración fuera del espacio refrigerado debe eliminarse siempre que sea práctico.

El recalentamiento del vapor dentro del espacio refrigerado puede ocurrir al final del evaporador o en la tubería de aspiración localizada dentro del espacio refrigerado, o en ambos sitios.

Para que no llegue refrigerante en forma de líquido al compresor se debe ajustar la válvula de regulación de refrigerante de forma que todo el líquido se evapore totalmente antes de su llegada al final del evaporador. En tales casos, el vapor frío continuará absorbiendo calor y se recalentará en la última parte del evaporador.

Si el calor necesario para recalentar el vapor es tomado del espacio refrigerado, se obtiene un enfriamiento útil. Sin embargo, a pesar de que se mejora aparentemente la eficiencia frigorífica del ciclo, no es económico el recalentamiento del vapor en el evaporador más allá de lo necesario para lograr el funcionamiento adecuado de la válvula de expansión.

El recalentamiento excesivo del vapor de aspiración en el evaporador reducirá la capacidad del evaporador innecesariamente y requerirá que el evaporador opere a una temperatura de vaporización menor o el uso de un evaporador más grande, con objeto de obtener la capacidad de evaporador deseada.

A veces se instala dentro del espacio refrigerado, un tramo de tubería de aspiración adicional al evaporador, llamado generalmente *serpentín secador*, cuya función es la de secar. Dicha tubería permite una inundación más completa del evaporador con refrigerante líquido, sin que exista el peligro de arrastre de líquido por la tubería de aspiración hasta el compresor.

Este sistema no solamente proporciona un medio de recalentamiento del vapor de aspiración dentro del espacio refrigerado de forma que la eficiencia del ciclo aumente sin sacrificio de superficie evaporadora, sino que de hecho hace posible un uso más efectivo de la superficie del evaporador.

En algunos casos, y en particular cuando la temperatura de aspiración es alta y la humedad relativa del aire exterior razonablemente baja, el recalentamiento del vapor de aspiración dentro del espacio refrigerado, elevará la temperatura de la tubería de aspiración evitando la formación de escarcha y eliminando la necesidad de aislamiento de dicha tubería.

El grado de recalentamiento del vapor de aspiración, dentro del espacio refrigerado, está limitado por la temperatura del espacio. Normalmente, el vapor podrá ser recalentado hasta 2-3°C por debajo de la temperatura del local refrigerado.

1.9.3.2 Escarche y deshielo de los evaporadores

El aire atmosférico es una mezcla de gases que contiene, especialmente, vapor de agua en suspensión, este vapor de agua tiende a depositarse sobre las superficies refrigerantes cuya temperatura es inferior a la de la cámara y, en la mayor parte de los casos, por debajo de 0°C.

Dicho vapor de agua se deposita, entonces, en forma de escarcha. La formación de escarcha se debe a las infiltraciones de vapor de agua a través de paredes y puertas, y por no ser totalmente estancas. Otra fuente de humedad que provoca la formación de escarcha es la humedad que despiden los productos almacenados en las cámaras frigoríficas.

Intuitivamente, si permanece constante la temperatura media de la cámara, aumentará la formación de escarcha cuanto más baja sea la temperatura de las superficies refrigerantes, es decir la temperatura de las baterías del evaporador.

La temperatura de la superficie de las baterías es más baja cuanto más baja es la temperatura de evaporación del refrigerante.

Esto lleva al concepto de la diferencia de temperatura en el evaporador, DT. Si la temperatura de la cámara permanece constante, y la temperatura de evaporación del refrigerante disminuye, eso provoca un aumento en la DT. Esto indica que un aumento en la DT provoca un aumento en la formación de escarcha. Si se tiene en cuenta que la mayor parte de ese vapor de agua depositado sobre las superficies de las baterías proviene de la evaporación superficial de los productos almacenados, se llega a la conclusión de que:

Un aumento en la DT produce una deshidratación de los productos almacenados, reduciendo la humedad relativa de la cámara, por un aumento en la formación de escarcha sobre la superficie de las baterías.

Otro factor importante, es la velocidad de circulación del aire alrededor de los productos almacenados. Una velocidad elevada motiva renovaciones rápidas de la capa de aire saturado que se encuentra en contacto con los productos provocando una evaporación y deshidratación más intensa.

1.9.4 TUBO CAPILAR O ELEMENTO RESTRICTOR

El tipo más simple de válvula de control ideado con el objeto de controlar la entrada de líquido refrigerante al interior del evaporador, lo constituye el estrangulador o restrictor. Este dispositivo no es otra cosa que un orificio de restricción, cuyo diámetro es mucho más pequeño que el de las tuberías o conductos que posee el evaporador.

El restrictor permite la entrada del líquido refrigerante al interior del evaporador, en cantidad proporcional a la diferencia de presión existente entre la presión de succión y la de compresión o en otras palabras, el refrigerante en estado líquido, es obligado a pasar a través del restrictor, en la cantidad exigida por la diferencia de presión que existe entre el condensador y el evaporador.

La presión que por acción del compresor se manifiesta en el condensador, obliga al refrigerante a pasar a través de un filtro por la línea líquida y de esta al restrictor, desde

donde el refrigerante en estado líquido pasa al evaporador a baja presión, evaporándose casi instantáneamente y absorbiendo el calor circundante. La necesidad de un filtro en la línea líquida es el hecho de que debido a la pequeñez del orificio del restrictor, cualquier partícula de materia extraña arrastrada por el refrigerante podría obstruir el restrictor provocando la falla del sistema.

El restrictor une a su simplicidad de construcción y bajo costo, la ventaja de no poseer dispositivos móviles, lo que simplifica su funcionamiento y elimina posibilidades de fallas. A las ventajas antes mencionadas debe agregarse otra no menos importante debido al hecho de que el restrictor permite igualar las presiones entre el lado de alta y el de baja del sistema cuando el compresor se detiene, lo que se realiza es lo siguiente: Al detenerse un equipo de refrigeración, comienza a circular a través del restrictor una cierta cantidad adicional de líquido refrigerante hasta lograr el equilibrio de presiones entre el de alta y el lado de baja. Esto constituye una ventaja. Por cuanto al reducir la presión que existe en el lado de alta, el compresor arrancara con una carga mucho menor, lo que representa un menor consumo de energía por parte del compresor.

Este proceso no ocurre cuando la presión existente en el lado de alta presión del sistema se mantiene en sus valores de régimen durante los periodos de inactividad del equipo.

1.9.5 FILTRO SECADOR O DESHIDRATADOR

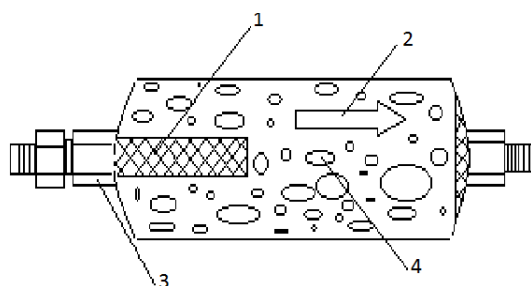
Como su nombre lo indica este es un dispositivo que cumple dos funciones. Filtrar cualquier impureza que se haya introducido al sistema con el fin de evitar que el tubo capilar sea obstruido de ahí que su posición deba ser antes del tubo capilar, para cumplir esta función.

La otra función es la de remover la humedad del sistema de refrigeración, su posición que es en la línea líquida o sea enseguida del condensador hace que el material desecante actúe rápidamente absorbiendo la humedad que se haya quedado dentro del

sistema siempre y cuando la cantidad de humedad no sea superior a la que esta sustancia sea capaz de absorber.

La sustancia más utilizada para la remoción de humedad en un sistema de refrigeración doméstica es la “Sílica-gel” material que generalmente se encuentra en forma granulada. Este material cumple con las propiedades requeridas para un buen desecante que son:

- Reducir el contenido de humedad del refrigerante
- Actuar rápidamente para reducir la humedad en un paso de refrigerante a través de la unidad de secado.
- Soportar aumentos de temperatura hasta de 70°C sin que se altere su eficiencia.
- Ser inerte químicamente al aceite.
- Permanecer insoluble, no debe disolverse con ningún líquido.
- Permanecer en su condición sólida original.
- Permitir el flujo uniforme del refrigerante a través de los gránulos, bolitas o bloque con una baja restricción o caída de presión del refrigerante.



1. Malla o Filtro
2. Sentido de flujo de refrigerante
3. Uniones roscadas
4. Silica Granulada

Figura 1.10 Filtro secador

1.9.6 ACUMULADOR DE SUCCIÓN O SEPARADOR DE LÍQUIDOS

Un acumulador de succión se trata de un recipiente a presión diseñado para evitar la entrada de refrigerante en estado líquido al compresor y/o aceite líquido en grandes cantidades; el acumulador es capaz de retener el exceso de mezcla en estado líquido y

posteriormente enviarlo en estado de gas. Se instala entre el evaporador y el compresor, donde existe la posibilidad de regreso de líquido por la línea de succión.

Entre las causas que originan la entrada de refrigerante líquido al compresor se encuentran:

- Sobrecarga de refrigerante en sistemas que usan tubo capilar.
- Falta de carga en el evaporador.
- Regreso de líquido al terminar el ciclo de deshielo con gas caliente.

La entrada de refrigerante líquido y aceites líquidos al compresor dependen de la cantidad que le esté llegando. Los compresores para refrigeración están diseñados para comprimir vapor. Si es excesiva la cantidad de líquido que entra al cilindro a través de la línea de succión, el pistón, en su carrera ascendente, golpeará este líquido contra la válvula o plato de descarga, produciendo un efecto como el de un gato hidráulico originando daños en las válvulas de descarga, los pistones, las bielas y hasta el cigüeñal, pudiendo provocar la ruptura del compresor. El exceso de refrigerante líquido que retorna al compresor diluye el aceite, disminuyendo sus propiedades lubricantes, y causando daños por mala lubricación en cojinetes y otras partes móviles. En algunos casos, se pierde completamente el aceite del cárter.

El acumulador de succión más frecuente se trata de un recipiente vertical en forma de U, el vapor de refrigerante entra al acumulador, pasa a través del tubo en U hacia la succión del compresor. Las gotas (más pesadas) de refrigerante caen al fondo incrementando el volumen de líquido.

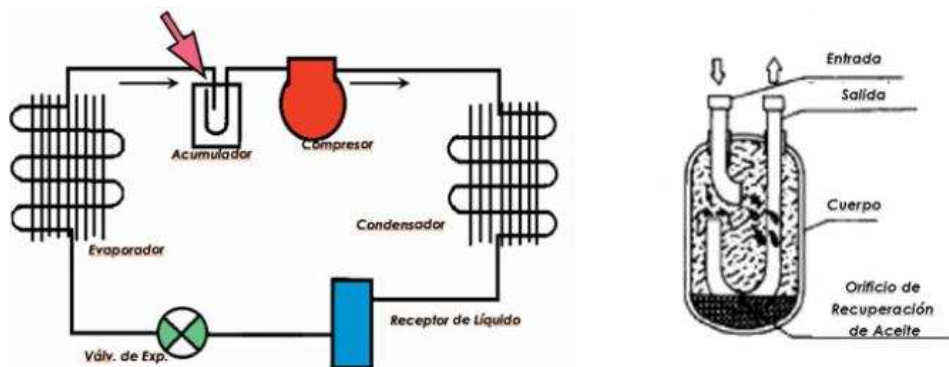


Figura 1.11 Acumulador de succión

1.10 REFRIGERANTES

La función de las instalaciones frigoríficas es la de enfriar un ambiente, para ello extraen calor de su interior y lo ceden al exterior. El agente que realiza dicho trasvase de calor de una zona a otra se denomina refrigerante o fluido frigorífico. Se usan como medio de transporte de calor entre dos puntos.

El calor se puede transportar en forma de calor latente o en forma de calor sensible.

- **Refrigerantes Frigorígenos (Primario)**

Cuando el refrigerante se transporta en forma de calor latente, el fluido sufre un cambio de estado (de líquido a vapor) para absorber calor y otro cambio (de vapor a líquido) para cederlo.

- **Refrigerantes Frigoríferos (Secundario)**

Cuando el refrigerante se transporta en forma de calor sensible, el refrigerante únicamente sufre un aumento de temperatura para absorber calor y un descenso para cederlo.

1.10.1 PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES

Antes de buscar un refrigerante se deben conocer las necesidades de la instalación como son la temperatura interior a alcanzar, potencia frigorífica necesaria, para determinar el refrigerante a utilizar.

Se decidirá la temperatura de evaporación en función de la temperatura interior a alcanzar, o se decidirá si un refrigerante es más o menos apropiado que otro en función de si la materia a enfriar es para uso alimentario y una posible fuga de refrigerante pueda contaminarla.

Con todo ello, las siguientes son las propiedades que, en general, se deben exigir a todo fluido frigorígeno:

1.10.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- **Presión de vapor**

Es conveniente que sea superior a la presión atmosférica para evitar que en las zonas de baja presión algún poro en la instalación provoque la entrada de aire ambiente en el sistema con los perjuicios que, ello conlleva al refrigerante y a la instalación.

- **Presión de condensación**

Cuanto más baja sea, menos exigencias se le solicitarán a las tuberías y elementos auxiliares de la instalación, con el menor coste y las menores necesidades de mantenimiento que ello conlleva.

Como consecuencia de los dos puntos anteriores, la relación de compresión también es aconsejable que sea baja, reduciendo así la potencia del compresor, aumentando su rendimiento (a menor relación de presión se producen menores fugas entre las juntas y ajustes de dicho elemento) y reduciendo el consumo de energía de la instalación.

- **Calor latente de vaporización**

A mayor calor latente del fluido menor cantidad de éste será necesaria para absorber una determinada cantidad de calor. Con menos fluido los calibres de tuberías, conducciones y auxiliares se reducen, y también el coste de llenado-vaciado de la instalación, y así los costes tanto de la instalación en sí como los derivados de su explotación disminuyen.

1.10.3 TRAZADO DE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN

Se presentan los conceptos de Entropía y Entalpía para entender mejor el significado de las representaciones termodinámicas.

Entropía: La entropía (S) debe entenderse como una medida de la energía en forma de calor (Q) que posee un cuerpo a una temperatura dada (T)

$$Q = S \cdot T$$

En el sistema internacional de unidades, se mide en KJ/°K (kilojulios por grado kelvin) y en KJ/°K Kg cuando se trata de entropía específica.

Entalpía: La entalpía (H) se define como la suma de la energía interna (U) de un cuerpo más el producto de la presión (P) al que está sometido por el volumen en el que está confinado (V):

$$H = U + P \cdot V$$

La energía interna (U) es la suma de la energía en forma de calor y en forma de trabajo que, de modo potencial, puede transmitir y desarrollar un cuerpo.

El producto $P \cdot V$ representa los trabajos mecánicos debidos a las fuerzas de presión.

En el sistema internacional de unidades la entalpía se mide en KJ (kilojulios) y en KJ/Kg cuando se trata de entalpía específica.

Al fluido que se le somete a un ciclo frigorífico se le fuerza a realizar una serie de procesos termodinámicos con el fin de obtener el enfriamiento deseado. Estos procesos se llevan a cabo manteniendo constante alguna propiedad física: presión, temperatura, entalpía o entropía. Así:

- La evaporación y la condensación suceden a temperatura y presión constantes.
- La compresión sucede de modo adiabático (sin intercambio de calor con el exterior), lo que conlleva que la entropía se puede considerar constante.
- La expansión sucede de modo isoentálpico y/o isotrópico.

Las líneas representadas en el diagrama entálpico son:

Isobaras (presión constante): Paralelas al eje de abscisas.

Isoentálpicas (entalpía constante): Paralelas al eje de las ordenadas.

Curva de Andrews: Es la curva A-Cr-B que delimita las zonas donde el fluido es homogéneo (exteriores a la curva) o heterogéneo (interiores a la curva).

La curva se divide en dos ramas. La rama A-Cr del líquido en equilibrio con una burbuja de vapor se llama curva límite $x=0$, a la izquierda de esta curva el fluido se encuentra en fase líquida (zona de líquido subenfriado). La rama Cr-B de vapor saturado en equilibrio con una gota de líquido, se titula curva límite $x=1$, a la derecha de esta curva el fluido se encuentra en fase gaseosa (zona de vapor recalentado).

En el interior de la curva el fluido es una mezcla de líquido y vapor en equilibrio, dependiendo la composición de la mezcla de la posición respecto a las curvas $x=0$ y $x=1$. El punto Cr fija las características del fluido en su punto crítico.

Isotermas (temperatura constante): Ascienden casi verticales en la zona de líquido subenfriado, horizontales y confundidas con las isóbaras dentro de la curva de saturación, y descendentes en la zona de vapor recalentado.

Isotrópicas (entropía constante): Trazadas dentro de las zonas de los vapores húmedos y recalentados, de pendiente positiva, no tienen inflexión al atravesar la zona de vapores saturados.

Isócoras (volumen específico constante): Trazadas dentro de las zonas de los vapores húmedos y recalentados, son ascendentes, y se quiebran al atravesar la curva de saturación.

Isotétricas: Líneas de título constante, en el interior de la zona de vapores húmedos, dividen en segmentos proporcionales a las isotermas. Todos los puntos de la misma relación (x) para temperaturas y presiones diferentes se han juntado para formar el haz de curvas a relación constante. Este haz converge hacia Cr ya que todas las curvas de relación constante pasan por Cr.

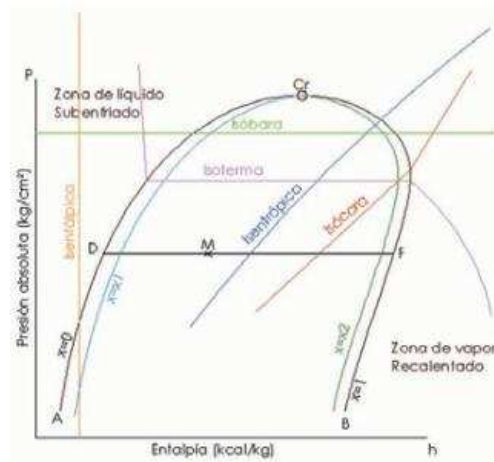


Figura 1.12 Diagrama entálpico P vs. H

Como se trata de un ciclo ideal:

- Se aspira vapores en el estado exacto de vapor saturado seco ($x=1$)
- La compresión es una compresión adiabática pura.
- El líquido no experimenta subenfriamiento en el condensador ni en el depósito de líquido.
- No existen pérdidas de carga por la circulación del fluido en las tuberías.

Las condiciones de trabajo se definen por:

t_v = temperatura de vaporización.

t_c = temperatura de condensación.

p_v = presión de vaporización.

p_c = presión de condensación.

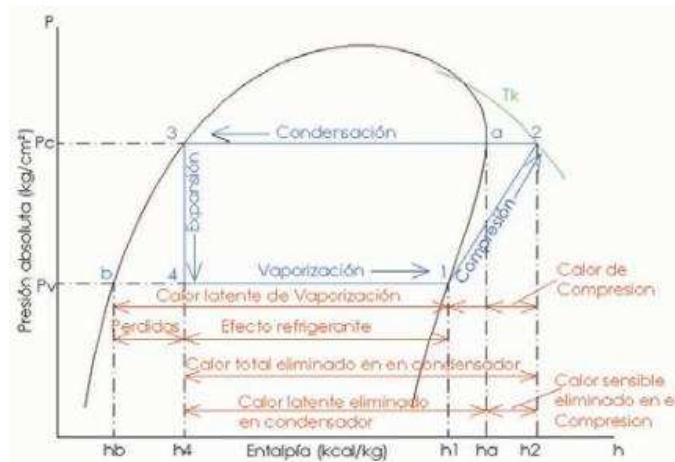


Figura 1.13 Tipo de líneas en un Diagrama Entálpico

Lo primero que se hace es trazar las isóbaras P_V y P_C , y sobre las que se situaran los puntos característicos del ciclo. 1-2-3-4

Punto 1. Aspiración del compresor.

En 1 los vapores entran en el compresor justamente saturados (vapor saturado seco $x=1$) se situará en la intersección de la isóbara isotérmica $p_V - t_V$ y de la curva $x=1$.

Punto 2. Compresión adiabática.

El punto figurativo se desplazará sobre la línea adiabática pasando por S1. Al final de la compresión, la presión tendrá el valor p_C , por lo que el punto 2 será la intersección de la isóbara p_C y de la adiabática S1.

Punto 3. Enfriamiento y condensación del fluido.

Siendo una isóbara el enfriamiento y condensación del fluido, el punto figurativo se desplazara de derecha a izquierda por la isóbara p_C partiendo de 2. Al término de la condensación y hallándose todo el fluido condensado a la presión p_C el punto 3 se encontrará en la intersección de la curva $x=0$ y la isobara-isotérmica $p_C - t_C$.

Punto 4. Expansión isoentálpica.

La expansión es isoentálpica, por lo que el punto figurativo se desplazará sobre la isoentálpica y al final de la expansión, y siendo entonces p_V la presión, el punto $h4$ se hallara en la intersección de la isoentálpica $h4$, y la isóbara p_V .

Como la evaporación es isobárica e isotérmica, el punto figurativo describirá la isoterma-isobárica $p_V - t_V$, desde 4 hasta 1 que es el estado del fluido a la entrada del compresor.

Las cuatro transformaciones termodinámicas experimentadas por el fluido se representan en este ciclo por las curvas o segmentos de las líneas:

Compresión: Tramo 1-2 (curva).

En el tramo el fluido recibe un aporte de energía externa en forma de energía de compresión. El fluido aumenta su temperatura desde t_V hasta t_C de forma isotrópica.

La energía absorbida por el fluido es:

$$W_k = h_2 - h_1$$

Condensación: Tramo 2-3 (recta).

El fluido que sale del compresor se enfría a presión constante y posteriormente se condensa hasta la forma líquida. La cantidad de calor que hay que ceder al medio de condensación para pasar del punto 3 al 2 es:

$$q_C = h_3 - h_2$$

Expansión: Tramo 3-4 (recta).

El líquido a temperatura t_c y presión p_c llega a la válvula de expansión y sufre una expansión por laminado a través de un orificio. Esta transformación es isoentálpica y por tanto $h_3 = h_4$. El título del vapor varía de $x = 0$ a $x = x_4$

Evaporación: Tramo 4-1 (recta).

El vapor al llegar al evaporador es una mezcla de líquido vapor, de título x_4 y cuya presión y temperatura son p_v y t_v respectivamente.

Debido al calor tomado del recinto a enfriar, el líquido se vaporiza, aumentando progresivamente el título del vapor y poniendo en juego el calor latente de vaporización del líquido.

La cantidad de calor absorbida del medio es:

$$q_e = h_1 - h_4$$

1.10.4 DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO POR EFECTOS DE LOS REFRIGERANTES

EL ozono es formado cuando las moléculas de oxígeno (O_2) absorben parte de la radiación ultravioleta proveniente del sol, ocasionando la separación de las moléculas en dos átomos de oxígeno. Estos átomos a su vez, se juntan con otras moléculas de oxígeno, formando así el ozono (O_3), que contiene tres átomos de oxígeno.

Aproximadamente 90% del ozono de la tierra está localizado en una capa natural, por encima de la superficie terrestre, conocida como estratosfera. Esta capa natural formada por el ozono, actúa como un escudo protector contra la radiación ultravioleta. La primera preocupación sobre la probable destrucción de la capa de ozono por los CFCs (Clorofluorocarbonados) fue levantada con la publicación de la teoría que indica

que los átomos de cloro liberados por los CFCs podrían migrar hasta la estratosfera, destruyendo las moléculas de ozono (Molina y Rowland, 1974).

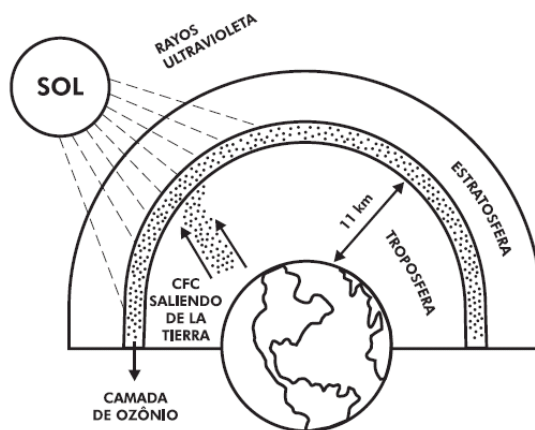


Figura 1.14 Representación esquemática de las capas que envuelven a la Tierra

Algunos de los CFCs tienen un tiempo de vida en la atmósfera superior a 120 años, esto significa que ellos no se disocian en la baja atmósfera (troposfera). Como resultado, los CFCs migran lentamente para la estratosfera donde son alcanzados por mayores niveles de radiación, liberando el cloro que una vez libre, se unen repetidamente con las moléculas de ozono, provocando la separación de los átomos de oxígeno.

Con la ocurrencia de la destrucción del ozono, mayores niveles de radiación tienden a penetrar en la superficie terrestre. Además de eso, debido al largo tiempo de vida de los CFCs en la atmósfera y al hecho de que un átomo de cloro puede destruir repetidamente millares de moléculas de ozono, serán necesarias muchas décadas para que la capa de ozono retorne a los niveles de concentración anteriores, aun después de la eliminación completa de los CFCs.

La destrucción de la capa de ozono por los clorofluorcarbonos (CFC's), entre los cuales están el CFC 11, el CFC 12 y el CFC 13 y su efecto de importancia vital sobre el ecosistema de la Tierra, fueron los principales motivos para la subscripción del Protocolo de Montreal en 1987, el cual regula la producción y el consumo mundiales de estas sustancias.

Una de estas alternativas, especialmente en la refrigeración doméstica es el refrigerante alternativo R-134a que fue escogido por no dañar la capa de ozono, además de presentar propiedades fisicoquímicas muy semejantes al CFC 12 (R-12).

Debido a sus características ecológicas, la ausencia de cloro (agente destructor del ozono) y al hecho de que presenta propiedades físicas y termodinámicas relativamente semejantes a las del refrigerante R-12, el R-134a es una de las opciones actuales para sustituir al R-12.

REFRIGERANTE	CARACTERÍSTICAS
R141b (HCFC-141b)	La probabilidad de reducir la capa de ozono es de 1/10 del poder reductor del CFC-11. Este compuesto posee las mejores propiedades aislantes entre los substitutos de refrigerantes
R22 (HCFC-22)	Excelente rendimiento y economía, y la probabilidad de reducir la capa de ozono es de 1/20 del poder reductor del R-12.
R134a (HFC-134a)	No reduce en absoluto la capa de ozono.

Tabla 1.4 Sustitutos de refrigerantes para refrigeración doméstica

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN UN REFRIGERADOR COMERCIAL


El diseño del Módulo de Refrigeración comenzará con un diagnóstico inicial del refrigerador comercial, para determinar en qué estado se encuentra. Los objetivos principales serán reparar cualquier falla del circuito mecánico que se presente y convertir al refrigerador comercial en un módulo didáctico, esto se logrará gracias a Tecnología Siemens empleando un PLC y un HMI que se encargarán de la visualización, control y registro de datos de temperatura y humedad, en los compartimentos del refrigerador y congelador

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN

El Módulo de Refrigeración a implementarse, se basa en un Refrigerador Comercial modelo SR-L628EV de Samsung Electronics que presenta las siguientes características:

Cap. Frigorífica [^{BTU} / _h]	Volúmen [litros]	Peso [Kg]	Rendimiento Congelador* [°C]	Tipo de Refrigerante	Eficiencia [^{BTU} / _{Wh}]
950	516	114	-18	HFC-134a	4,85

Tabla 2.1 Características del refrigerador SR-L628EV

*Rendimiento del Congelador:  3Estrellas. Cada estrella significa -6°C. La estrella grande indica que el congelador enfriará 5 Kg de alimento, de la temperatura ambiente a -18°C en 24h

2.1.1 PARTES INTERNAS DEL SR-L628EV

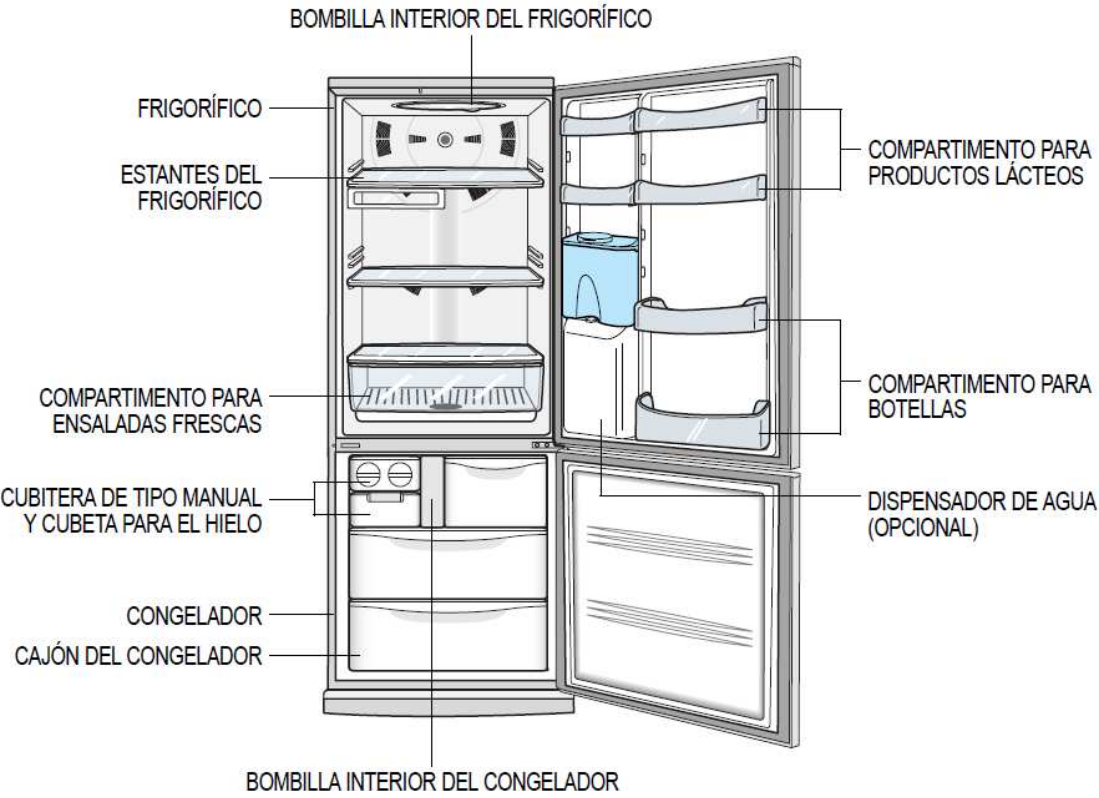


Figura 2.1 Partes internas del SR-L628EV

2.2 DIAGNÓSTICO INICIAL DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN

Se procedió a realizar el diagnóstico inicial del módulo de refrigeración, para determinar el funcionamiento de cada uno de los elementos del mismo. El resultado de dicho diagnóstico se resume en la Tabla 2.2:

ELEMENTO	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO		OBSERVACIONES	ACCIÓN CORRECTIVA
	SI	NO		
Compresor		x	Los bobinados del	Seleccionar un

SK182E-L2W			compresor están quemados	nuevo compresor y reemplazarlo
Evaporador del refrigerador	x		Se encuentra en perfecto estado, sin fugas	
Evaporador del congelador	x		Se encuentra en perfecto estado, sin fugas	
Condensador		x	La tubería está oxidada y tiene fugas en 3 puntos	Seleccionar un nuevo condensador y reemplazarlo
Circuito de Control		x	La placa de control está quemada, al parecer hubo un corto circuito	Diseñar y construir un nuevo sistema de control
Sensores de apertura y cierre de puertas		x	Los cables del sensor están quemados	Diseñar y construir un nuevo circuito de control
Ventilador del compresor	x		Se encuentra en perfecto estado	
Ventilador del refrigerador	x		Se encuentra en perfecto estado	
Ventilador del congelador	x		Se encuentra en perfecto estado	
Resistencia de deshielo del refrigerador	x		El fusible térmico está quemado	Cambiar el fusible por uno de iguales características
Resistencia de deshielo del congelador	x		Se encuentra en perfecto estado	
Lámpara del Congelador	x			
Lámpara del refrigerador		x	La lámpara está quemada	Cambiarla por una de iguales características
Swing Motor	x		Se encuentra en perfecto estado	

Tabla 2.2 Diagnóstico inicial de módulo de refrigeración

2.3 SELECCIÓN DEL COMPRESOR

Debido a que la capacidad refrigerante y las necesidades de potencia de un compresor varían con las condiciones del vapor refrigerante a la entrada y a la salida del compresor, los catálogos suministrados por los fabricantes de estos equipos indican las capacidades refrigerantes y las necesidades de potencia para distintas temperaturas de evaporación y condensación.

Se ha de tener en cuenta que raras veces es posible seleccionar un compresor que tenga exactamente la capacidad requerida por las instalaciones de diseño, de ahí que se tienda a seleccionar un compresor que tenga una capacidad sino igual, al menos algo mayor a la requerida según las condiciones de funcionamiento.

2.3.1 SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR

Todo sistema de refrigeración necesita de un elemento de control que puede ser una válvula de expansión o un tubo capilar. En circuitos dotados de tubo capilar, las presiones en los lados de succión y descarga se igualan durante la parada del compresor. En este tipo de circuito, el compresor es dotado de un motor con bajo torque de arranque. Por otro lado, en un circuito con válvula de expansión solamente hay flujo de refrigerante por la válvula mientras el compresor se encuentre conectado. Así, las presiones entre la succión y la descarga no se igualan. En este caso, el compresor es dotado de un motor con alto torque de arranque.

Clasificación	Sistema de Control	Ejemplo de Aplicación
LST (Low Starting Torque)	Tubo Capilar	Refrigeradores, congeladores, bebederos, y enfriadores de líquidos
HST (High Starting Torque)	Válvula de Expansión	Mostradores comerciales, expositores, y refrigeradores para carnicería

Tabla 2.3 Clasificación de los compresores según el torque de arranque

2.3.2 TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN

Como ya se mencionó, otro factor que influye en la selección del compresor es el rango de temperatura de evaporación que requiere el sistema.

A una determinada temperatura en el evaporador corresponde una determinada presión. La presión del refrigerante es baja en temperaturas bajas (-25°C a -35°C), por lo tanto, solamente una pequeña cantidad de calor podrá ser absorbida durante la evaporación.

Si la evaporación ocurre a una temperatura más alta, por ejemplo a 0°C , la presión y la densidad aumentarán y la cantidad de calor absorbida será mayor.

Por esta razón se puede concluir que, el trabajo realizado por el compresor para altas temperaturas de evaporación será mayor que el realizado por el mismo compresor en bajas temperaturas. Consecuentemente, los compresores para aplicación en sistemas de alta presión de evaporación deben tener un torque más elevado de funcionamiento.

Los compresores pueden ser clasificados conforme su aplicación en:

Clasificación	Temp. de Evaporación	Ejemplo de Aplicación
LBP (Low Back Pressure)	-35°C a -10°C	Congeladores y Refrigeradores
MBP (Medium Back Pressure)	-10°C a 0°C	Mostradores Comerciales
HBP (High Back Pressure)	0°C a 10°C	Deshumecedores, bebederos y enfriadores de líquidos

Tabla 2.4 Clasificación de los compresores según la temperatura de evaporación

Tomando en consideración las particularidades del Refrigerador, se ha seleccionado el Compresor FF 11.5BK de Embraco, cuyas características se describen a continuación:

El ventilador para enfriamiento del compresor es de 110[V], 60[Hz], 0.18 [A]. Tendrá el mismo estado de funcionamiento que el compresor; es decir, el ventilador estará prendido cuando el compresor esté funcionando, y estará apagado cuando el compresor no esté funcionando.

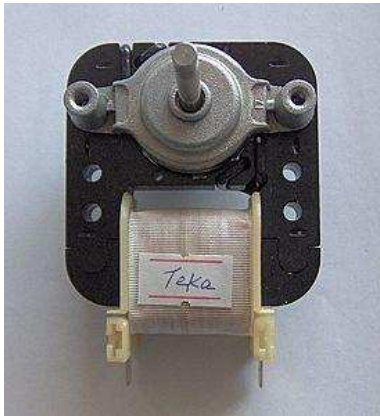


Figura 2.4 Ventilador para enfriamiento del compresor

2.3.3 ARRANQUE DEL COMPRESOR

Los compresores monofásicos pueden tener diferentes sistemas de protección y de arranque, que dependen principalmente de la potencia del mismo. Los sistemas de arranque más utilizados son:

- **PTCSIR:** Para compresores con arranque de resistencia tipo PTC y protector térmico
- **RSIR:** Para compresores con arranque por relé de intensidad y protector térmico
- **CSIR:** Para compresores con arranque por relé de intensidad, protector térmico y condensador de arranque
- **PTCSCR:** Para compresores con arranque de resistencia tipo PTC, protector térmico y condensador de arranque

- **PSC:** Para compresores con arranque de condensador marcha y protector térmico
- **CSR:** Para compresores con arranque con condensador de marcha, condensador de arranque, protector térmico y relé potencial

Para el arranque del compresor FF11.5BK se decidió utilizar el arranque CSIR

El relé de arranque, el protector de sobrecarga y capacitor de arranque se han elegido de acuerdo a las especificaciones dadas por Embraco en la Tabla 2.5

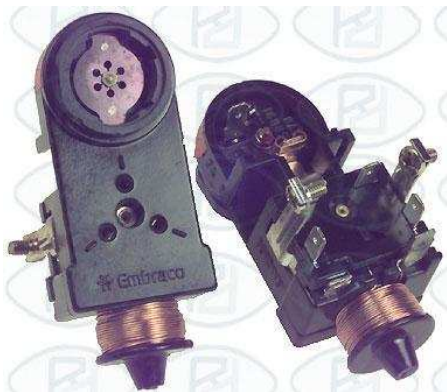


Figura 2.5 Relé de arranque Embraco

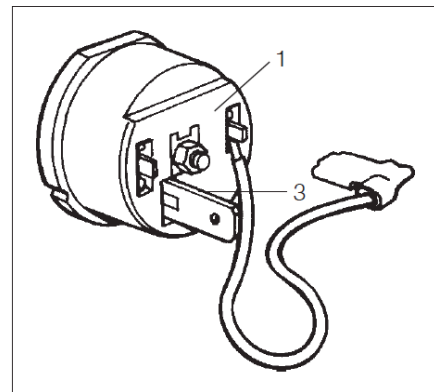


Figura 2.6 Protector de sobrecarga $\frac{3}{4}$



Figura 2.7 Capacitor de Arranque 480 [μ F]

Para iniciar el arranque es necesario identificar cada uno de los tres terminales del compresor, como se muestra en la siguiente figura:

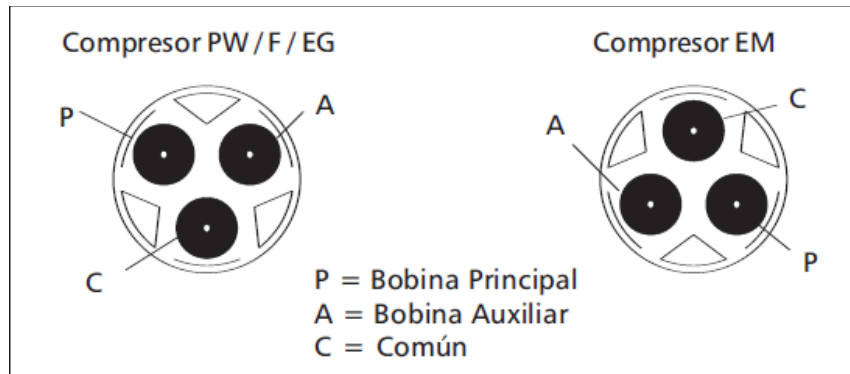


Figura 2.8 Identificación de los terminales del compresor

La bobina de Arranque es más delgada y por tanto presenta mayor resistencia eléctrica. Los puntos de conexión de esta bobina están entre A y C. La bobina de arranque como su nombre lo indica se energiza solo en el momento del arranque, y cuando el motor alcanza el 75% de su velocidad nominal, entonces se desconecta.

La bobina Principal es más gruesa y por tanto presenta menos resistencia eléctrica. Los puntos de conexión de esta bobina están entre P y C. Esta bobina permanece energizada durante todo el funcionamiento del compresor.

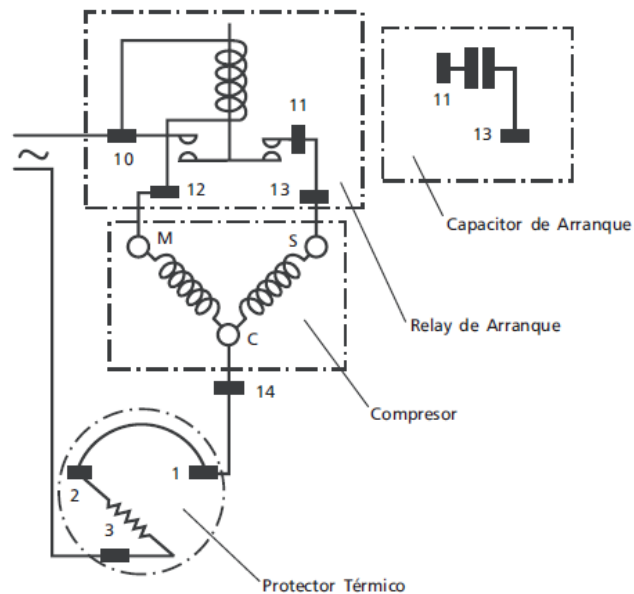


Figura 2.9 Esquema eléctrico CSIR para el arranque del compresor



Figura 2.10 Conexión eléctrica del compresor

2.4 SELECCIÓN DEL CONDENSADOR

Como se indicó en la Tabla 2.2, las tuberías del condensador original se encontraban oxidadas. Además el condensador tenía 3 fugas de difícil acceso en su serpentín, por lo que no fue posible soldar ni reparar el equipo original. Se seleccionó un nuevo condensador siguiendo las sugerencias hechas por el Fabricante Samsung.



Figura 2.11 Condensador Samsung DA73-10301A

2.5 RESISTENCIAS DE DESHIELO

La escarcha en los tubos del evaporador reduce la eficiencia del sistema, ya que el hielo forma un aislante, que provoca una disminución de la producción frigorífica, aumentando así, el tiempo de funcionamiento de la máquina

Debido a estas razones, el consumo de energía eléctrica aumentará al incrementarse el tiempo de funcionamiento del equipo siendo necesaria la realización de un deshielo de forma regular

La fusión del hielo en los tubos se obtiene por el calentamiento directo de las aletas del evaporador, por medio de resistencias eléctricas, que se adaptan en las aletas. En el ciclo de deshielo, las aletas se calientan por la acción de las resistencias transmitiendo por conducción a los tubos del evaporador la energía calorífica.

La escarcha, que se funde a su contacto con las aletas y los tubos calientes, se desprende en forma de placas y partículas circulares que terminan de fundirse en la bandeja de desagüe colocada en la parte inferior del evaporador.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
Resistencias de Calentamiento del Congelador	115[V] 200[w]
Resistencias de Calentamiento del Refrigerador	115[V] 130[w]

Tabla 2.6 Características eléctricas de las resistencias de deshielo



Figura 2.12 Resistencias de deshielo en el compartimento del refrigerador



Figura 2.13 Resistencias de deshielo en el compartimento del congelador

2.6 VENTILADOR PARA LA RENOVACIÓN DE AIRE

La renovación de aire consiste en tomar aire del exterior, e introducirlo en el compartimento, expulsando al mismo tiempo un volumen igual de aire viciado.

Para cumplir con la renovación de aire, el Módulo cuenta con un Swing motor en el compartimento del refrigerador, quien será el encargado de introducir aire del exterior y expulsar un volumen igual de aire contaminado, cada vez que se abra la puerta del refrigerador.



Figura 2.14 Swing Motor

2.7 VENTILADORES DE DOSIFICACIÓN DE AIRE

Con una adecuada circulación de aire en el interior de las cámaras frigoríficas se pretende conseguir:

- Una buena transmisión del frío
- Una eficiente homogenización de la temperatura y de la humedad relativa en el interior del recinto frigorífico.

El aire es el medio por el cual se realiza la transmisión del frío entre el evaporador, y la carga como pueden ser por ejemplo: los alimentos a refrigerar.

Para mover el caudal de aire que llevará a cabo este intercambio térmico, el Módulo cuenta con dos ventiladores uno en el compartimento del refrigerador y otro en el compartimento del congelador.

Para garantizar una adecuada y constante circulación de aire, los ventiladores estarán siempre activados, excepto en el periodo de deshielo.



Figura 2.15 Ventilador del refrigerador



Figura 2.16 Ventilador del congelador

2.8 CONTROL DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN

2.8.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente toma energía de la red de corriente alterna, emplea un puente de diodos para rectificar la señal de voltaje proveniente de un transformador con relación $\frac{6}{1}$ (120 [V] / 20 [V]), dejando pasar solo la parte positiva del voltaje de alimentación.

La salida del puente de rectificador es conectada a un capacitor electrolítico de 1000 μF 35 [V], que tiene la finalidad de disminuir el rizado de la señal de voltaje.

Para obtener un voltaje DC constante de 15[V] se emplea un circuito integrado LM7815. Adicionalmente se emplea otro capacitor cerámico de 470 [μF] 63 [V], para filtrar el ruido eléctrico a la salida de la fuente de voltaje, como se muestra en la siguiente figura:

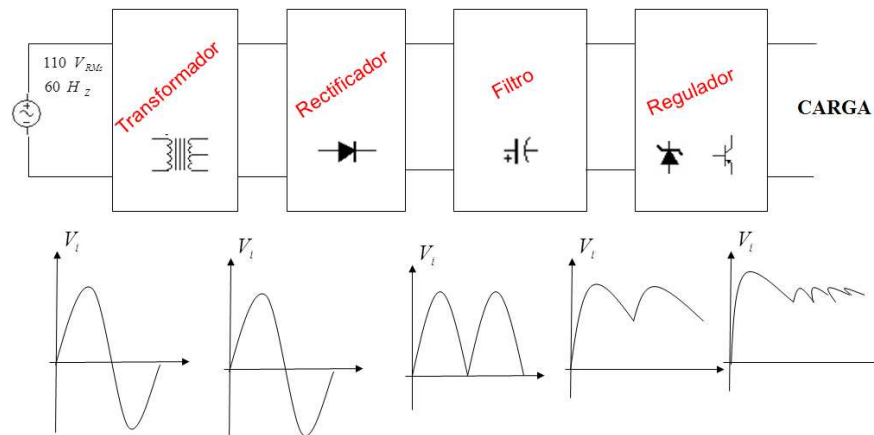


Figura 2.17 Diagrama de bloques de la fuente de alimentación

El diseño de la fuente de poder incluye 2 fuentes, cada una de 15[Vdc], para la alimentación de los sensores, como se muestra en la siguiente figura

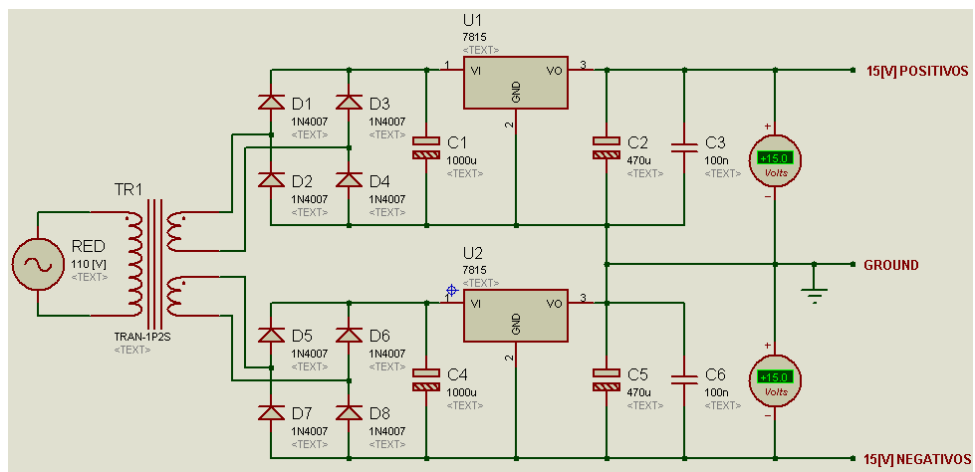


Figura 2.18 Diseño de la fuente de poder

2.8.2 ACONDICIONAMIENTO PARA LOS SENSORES

El sistema de adquisición de datos del Módulo de Refrigeración, posee varios subsistemas de acondicionamiento, para los transductores de las variables de temperatura y humedad. Por lo que en los numerales posteriores se explicará los diferentes sensores utilizados y su acondicionamiento

2.8.2.1 Sensores de temperatura

Para poder analizar el funcionamiento de los refrigeradores comerciales, como es el caso del SR-L628EV, es necesario medir valores de temperatura en varios puntos estratégicos como son:

- En el interior de la cámara del refrigerador
- En los tubos del evaporador del refrigerador
- En las resistencias de deshielo del refrigerador
- En el interior de la cámara del congelador
- En los tubos del evaporador del congelador
- En las resistencias de deshielo del congelador

Debido a que en la cámara del refrigerador, los tubos del evaporador y las resistencias de deshielo están en el mismo serpentín como muestra la Figura 2.12, y de igual manera en la cámara del congelador como se muestra en la Figura 2.13, solo será necesario colocar un sensor de temperatura en cada serpentín, para poder medir la temperatura del evaporador y de las resistencias de deshielo al mismo tiempo.

Siendo la nomenclatura para los transductores de temperaturas de la siguiente forma:

Temperatura	Alimentación	Nomenclatura
Interior del refrigerador	+15[Vdc], -15[Vdc]	TR
Interior del congelador	+15[Vdc], -15[Vdc]	TF

Evaporador y resistencias de deshielo del refrigerador	+15[Vdc], -15[Vdc]	DR
Evaporador y resistencias de deshielo del congelador	+15[Vdc], -15[Vdc]	DF

Tabla 2.7 Nomenclatura de los transductores de temperatura

2.8.2.1.1 Transductor de temperatura para las resistencias de deshielo

Teniendo en cuenta que la temperatura de evaporación es de -24°C como se muestra en la Tabla 2.5. Se ha escogido el sensor LM35 para el diseño del transductor de temperatura.

El LM35 es un sensor de temperatura de precisión, cuya salida es lineal y proporcional a la escala Celsius. El LM35 no requiere de una calibración externa ya que provee una precisión de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ en una habitación y $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ en el rango de temperatura de -55°C a 150°C . La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración hacen posible una fácil instalación en un circuito de control.

Debido a su baja corriente de alimentación ($60\mu\text{A}$), se produce un efecto de auto calentamiento reducido, menos de 0.1°C en situación de aire estacionario

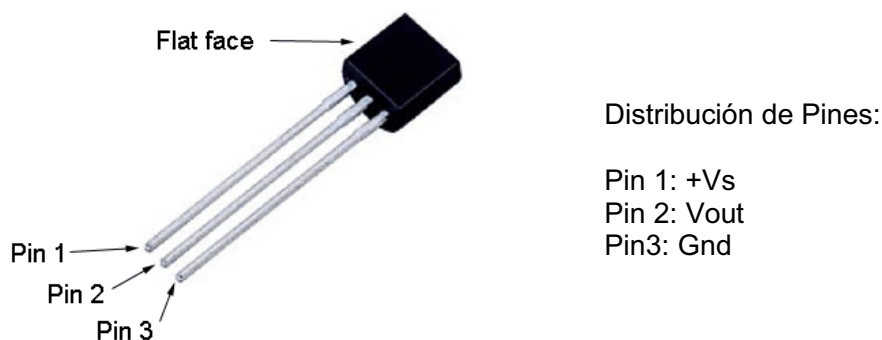


Figura 2.19 Sensor de temperatura LM35

Sus características técnicas son las siguientes:

Calibrado en escala Celsius

Lineal con un factor de escala de 10 mV/°C

Precisión de 0.5°C a una temperatura de 25°C

Rango de Trabajo de -55°C a 150°C

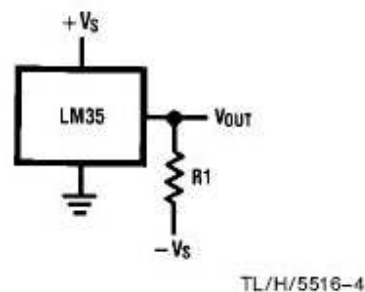
Opera con voltajes de alimentación de 4 a 30 [V]

Baja corriente de alimentación 60 [μ A]

Bajo auto calentamiento, 0.08°C en aire estacionario

Baja Impedancia de salida, 0.1 [Ω] por 1 [mA]

Para medir la temperatura ya sea en el congelador o en el refrigerador se necesitan valores negativos de temperatura, por lo que es necesario hacer funcionar al sensor en todo el rango de temperatura, es decir desde -55°C a 150°C . Para ello se ha seguido las recomendaciones hechas por el fabricante National Semiconductor



Choose $R_1 = -V_S/50 \mu A$

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= +1,500 \text{ mV at } +150^{\circ}\text{C} \\ &= +250 \text{ mV at } +25^{\circ}\text{C} \\ &= -550 \text{ mV at } -55^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Figura 2.20 Configuración del LM35 para operar en todo el rango de temperatura

La fuente de poder que se ha diseñado es de $\pm 15\text{V}$, por lo que $V_s = -15\text{V}$

$$R_1 = \frac{-V_S}{50[\mu A]}$$

$$R_1 = \frac{15[V]}{50[\mu A]}$$

$$R_1 = 300[K\Omega]$$

Para evitar pérdidas de voltaje en la lectura de la temperatura, se ha diseñado un circuito seguidor de voltaje, cuya ganancia es 1, con un amplificador operacional LM741

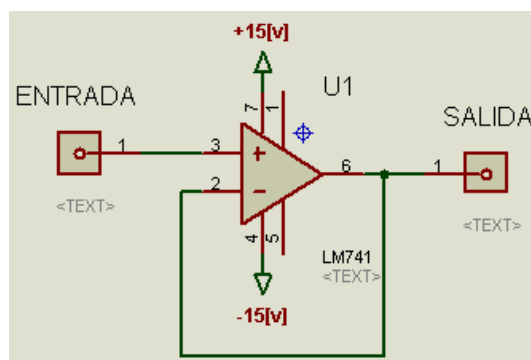


Figura 2.21 Seguidor de voltaje con LM741

El seguidor de voltaje se utiliza porque su resistencia de entrada es alta (varios megohmios). Por lo tanto extrae una corriente despreciable de la fuente de señal.

El diseño del transductor de temperatura se muestra en la siguiente figura

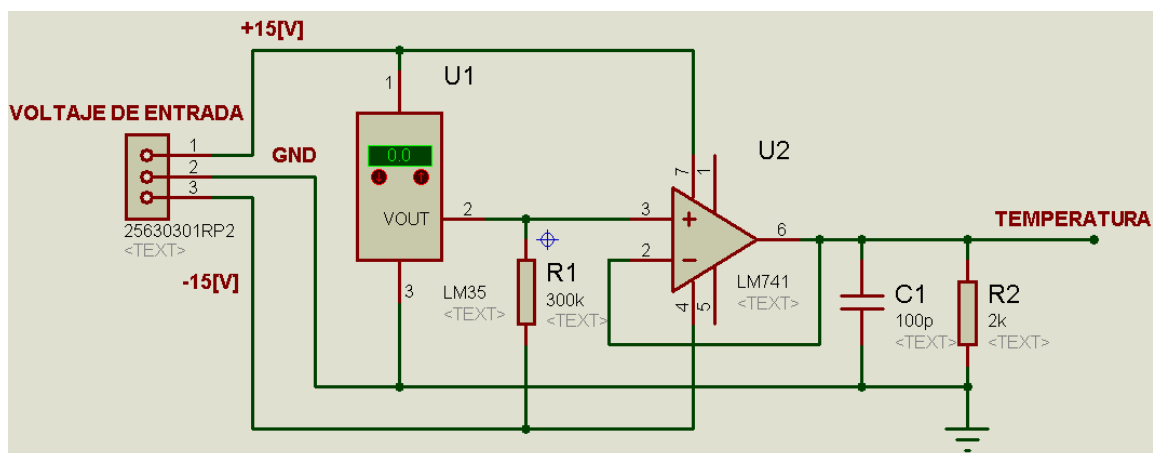


Figura 2.22 Diseño del transductor de temperatura

Los transductores de temperatura se han colocado en una posición tal, que permitan medir la temperatura del evaporador y la temperatura de las resistencias de deshielo, gracias a que tanto el evaporador y las resistencias se encuentran en el mismo serpentín como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.23 Transductor de temperatura en el refrigerador

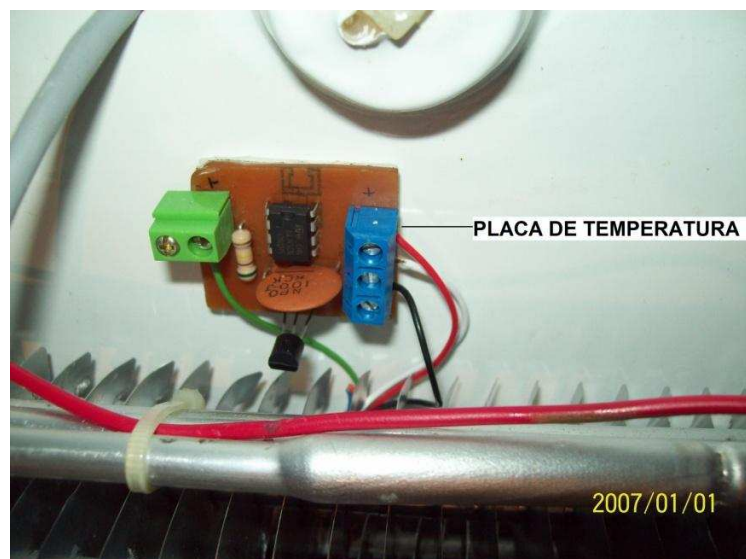


Figura 2.24 Transductor de temperatura en el congelador

2.8.2.2 Sensores de humedad

Para poder analizar el funcionamiento de los refrigeradores comerciales, es necesario medir valores humedad en la cámara de refrigeración y en la cámara de congelación, bajo la siguiente nomenclatura:

Humedad	Alimentación	Nomenclatura
Interior del refrigerador	15[Vdc], Gnd	HR
Interior del congelador	15[Vdc], Gnd	HF

Tabla 2.8 Nomenclatura de los transductores de humedad

El transductor se ha diseñado con un sensor de humedad HS1101, este sensor es una solución efectiva a un bajo costo para medir la humedad relativa con un $\pm 5\%$ de precisión. El diseño del sensor está basado en una celda capacitiva

Sus características técnicas son las siguientes:

Desaturación instantánea después de largos periodos en fase de saturación

Compatible con el proceso de montajes automatizados

Rango de medición Humedad de 1 a 99%

Salida Análoga, variando la capacitancia en respuesta al cambio de humedad relativa

Apropiada para circuitos lineales

Tiempo de Respuesta Rápida

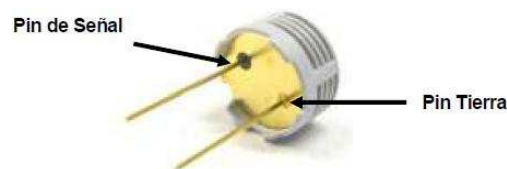


Figura 2.25 Sensor de Humedad HS1101

El sensor tiene una salida análoga, variando la capacitancia con el cambio de humedad relativa, la curva de respuesta Capacitancia vs. Humedad Relativa se muestra a continuación:

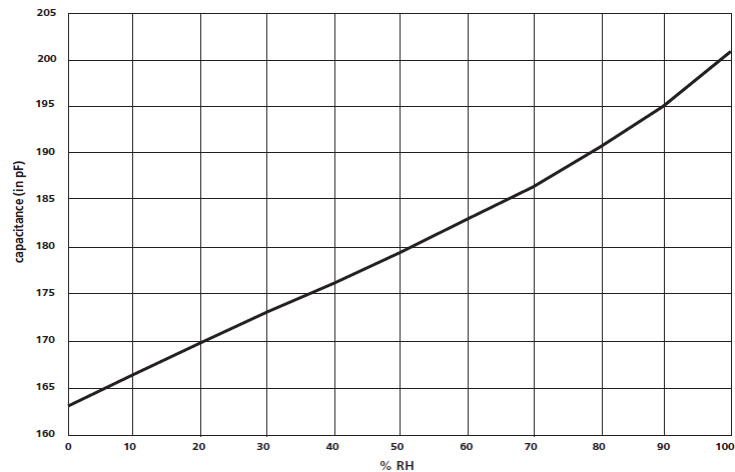


Figura 2.26 Respuesta típica de capacitancia del HS1101 respecto a la humedad

Para poder medir los valores de humedad, es necesario acondicionar el sensor HS1101, a una de las dos siguientes formas de operación:

- Salida de Voltaje
- Salida de Frecuencia

Se ha seleccionado la salida de frecuencia, ya que el PLC que se utilizó en esta tesis, cuenta con dos contadores rápidos capaces de leer una frecuencia hasta de 20MHz.

Para lo que se ha diseñado un multivibrador astable con un circuito NE555. El Sensor HS1101 se utiliza como condensador variable, y se conecta a las entradas TRIG (2) y THRES (6).

El condensador equivalente formado por el HS1101, se carga a través de R2 y R4 hasta llegar a la tensión umbral (0.67 Vcc) y se descarga solo a través de R2 hasta

llegar a la tensión de Trigger ($0,33 V_{cc}$), ya que en descarga la resistencia R4 está conectada a tierra a través del pin 7. La resistencia R3, protege contra corto circuitos

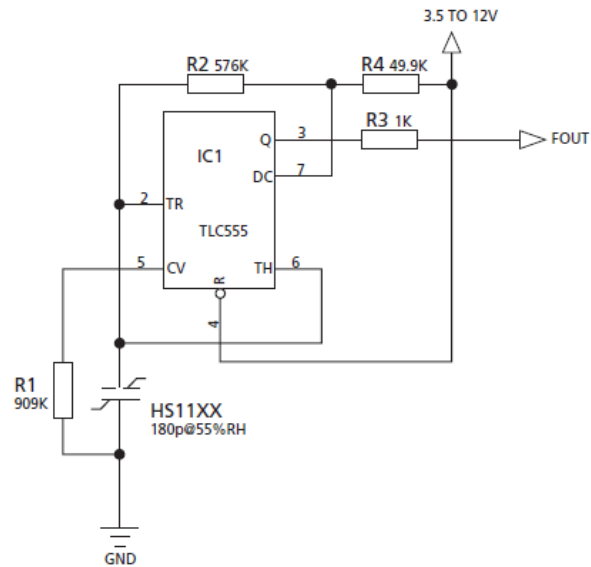


Figura 2.27 Configuración astable del 555 utilizando el HS1101 como condensador variable

La compensación de temperatura interior del 555 cambia de un fabricante a otro, el valor de R1 debe adaptarse al chip específico. Para mantener la frecuencia nominal de 6660Hz a 55%RH, R2 hay que ajustarla de acuerdo con los datos de la siguiente Tabla

Tipo de 555	R1	R2
TLC555 (Texas)	909 [KΩ]	576 [KΩ]
TS555 (STM)	100 [nF]	523 [KΩ]
7555 (Harris)	1732 [KΩ]	549 [KΩ]
LMC555 (National)	1238 [KΩ]	562 [KΩ]

Tabla 2.9 Valores de R1 y R2 para una frecuencia nominal de 6660Hz a 55% RH

Como el integrado 555 que se ha utilizado, pertenece a STM entonces, $R1=100$ [nF] y $R2=510$ [KΩ]

Para asegurar el correcto funcionamiento del transductor de humedad, se han hecho pruebas de laboratorio, de la respuesta de frecuencia que presenta el transductor con el cambio de humedad relativa.

Una impresión de dicha prueba se muestra en la siguiente figura:

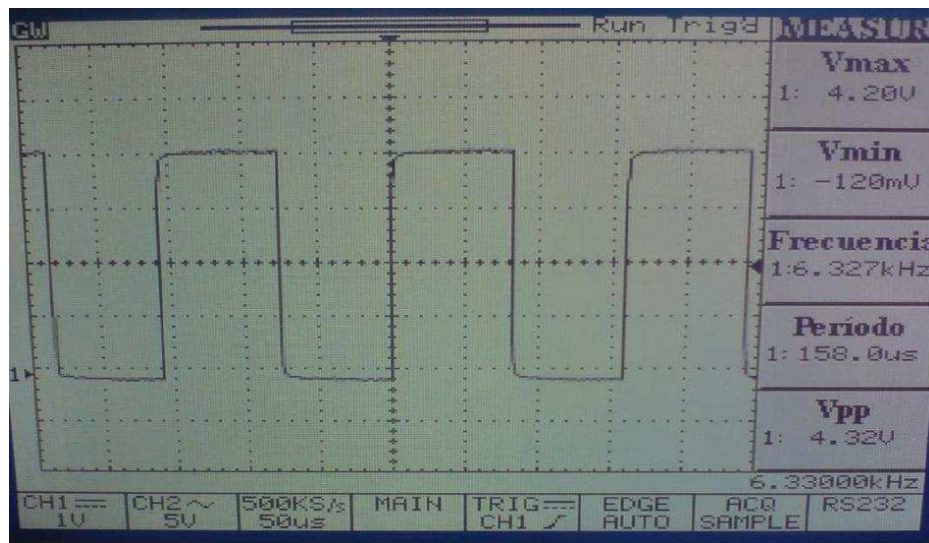


Figura 2.28 Salida del multivibrador astable con el 555, utilizando el HS1101 como condensador variable

El transductor de humedad, y el transductor de temperatura, se han construido en la misma placa, para aprovechar que ambos transductores ocupan el mismo voltaje de alimentación como se muestra en las Tablas 2.7 y 2.8

El diseño del circuito se muestra en la siguiente figura:

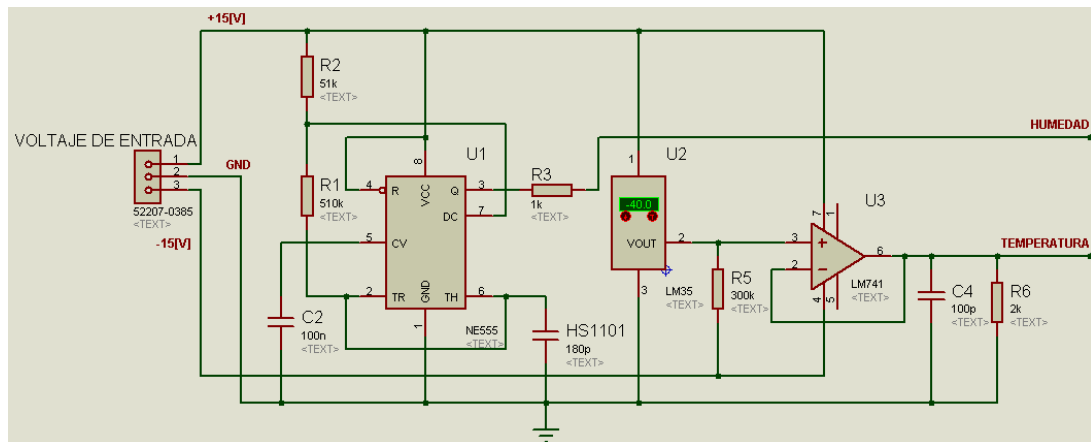


Figura 2.29 Diseño del transductor de temperatura y humedad

Para colocar el circuito en el interior del compartimento del refrigerador, se ha escogido el lugar más céntrico posible, con el fin de obtener una lectura más exacta, de lo que sucede al interior, como se muestra en las siguientes figuras:

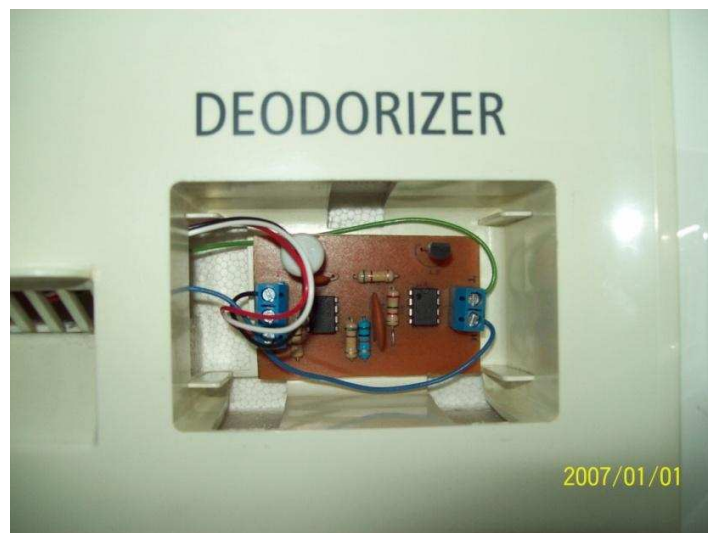


Figura 2.30 Transductor de humedad y temperatura en el interior del refrigerador

De igual manera, se ha hecho al interior del congelador, buscando el lugar más céntrico posible, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.31 Transductor de humedad y temperatura en el interior del congelador

2.8.2.3 Sensores para la apertura y cierre de puertas

Como se muestra en el análisis inicial, Tabla 2.2, los cables originales para el control de puertas están quemados, por lo que se ha optado por diseñar y construir un nuevo sistema de control para las puertas

Para detectar la apertura o cierre de puertas, se he utilizado dos switches y la fuente de 24 [V] del PLC. Estas señales serán leídas por las entradas digitales del PLC, el cual mediante programación activará o desactivará las lámparas respectivamente.



Figura 2.32 Switch para el control de puertas

Para la programación del PLC es necesario conocer, en que condición el circuito tiene una respuesta de 24[v] o de 0[v], el resumen de la información se muestra en la siguiente Tabla:

Puerta	Condición	Switch	Voltaje
Congelador	Abierta	Cerrado	0 [V]
	Cerrada	Abierto	24 [V]
Refrigerador	Abierta	Cerrado	0 [V]
	Cerrada	Abierto	24 [V]

Tabla 2.10 Funcionamiento de las puertas del Módulo

El diseño para el control de apertura y cierre de puertas se muestra a continuación:

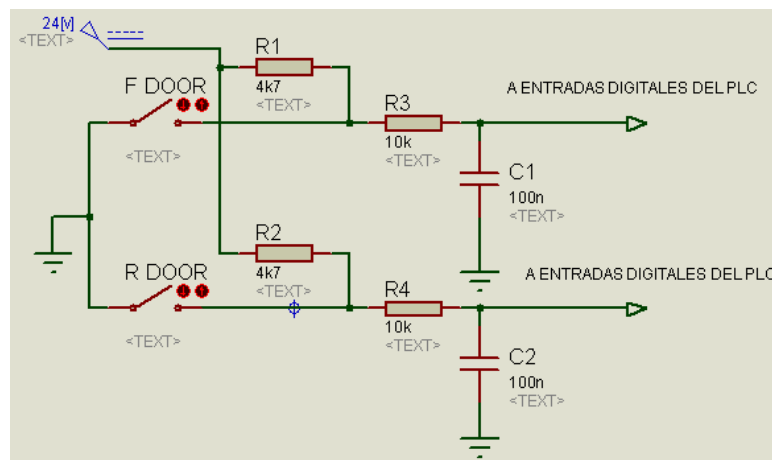


Figura 2.33 Diseño del circuito para el control de apertura y cierre de puertas

Para evitar pérdidas de voltaje en las entradas digitales del PLC, se ha construido un circuito seguidor de voltaje, con un amplificador operacional LM741, cuyo diseño ha sido descrito en el Numeral 2.8.2.1.1

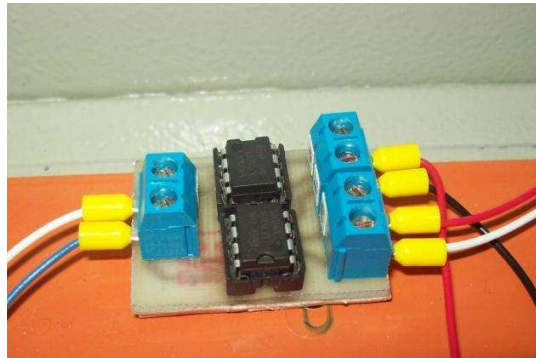


Figura 2.34 Seguidor de voltaje

Como se muestra en el análisis inicial, Tabla 2.2, la lámpara del refrigerador se está quemada, por lo que se ha procedido a la compra de un reemplazo de iguales características físicas y técnicas, como muestra la siguiente figura:



Figura 2.35 Lámpara Osram dulux s/e 11w

2.8.3 CIRCUITO DE POTENCIA

El Módulo de Refrigeración tiene 9 elementos que deben ser controlados, los cuales se enlistan por ubicación, en la siguiente Tabla:

Elemento	Compartimento del Refrigerador	Compartimento del Congelador	Exterior
Ventilador de circulación de aire	x	x	

Lámpara	x	x	
Resistencia de Calentamiento	x	x	
Swing Motor	x		
Compresor			x
Ventilador de Enfriamiento del compresor			X

Tabla 2.11 Elementos del Módulo de Refrigeración

Para el control de estos 9 elementos se los ha dividido en 6 grupos, como se muestra en la siguiente Tabla:

	ELEMENTOS	
Relé 1	Resistencia del Congelador	Resistencia del Refrigerador
Relé 2	Compresor	Ventilador del Compresor
Relé 3	Ventilador del Congelador	Ventilador del Refrigerador
Relé 4	Swing Motor	
Relé 5	Lámpara del Congelador	
Relé 6	Lámpara del Refrigerador	

Tabla 2.12 Clasificación en grupos de los elementos

Cada grupo será controlado por un relé de bobina de 24[Vdc]. Los relés de los 4, 5 y 6 han sido montados sobre la placa de potencia, sin embargo los relés para los grupos 1, 2 y 3, son relés de dos contactos, que requieren una base, por lo que no han sido montados en la placa de potencia

El circuito de potencia también contiene la fuente de alimentación descrita en el numeral 2.8.1 para alimentar a los sensores, que se muestran en la siguiente Tabla:

Sensor	Voltaje de entrada
Transductor de temperatura y humedad para el interior del refrigerador	15[v], -15[v], Gnd
Transductor de temperatura y humedad para el interior del congelador	15[v], -15[v], Gnd
Transductor de temperatura en los tubos del evaporador del refrigerador	15[v], -15[v], Gnd
Transductor de temperatura en los tubos del evaporador del refrigerador	15[v], -15[v], Gnd
Seguidor de voltaje para el sensor de cierre y apertura de puertas	15[v], -15[v]

Tabla 2.13 Alimentación de voltaje para los sensores

El diseño del circuito de potencia se muestra en la siguiente figura:

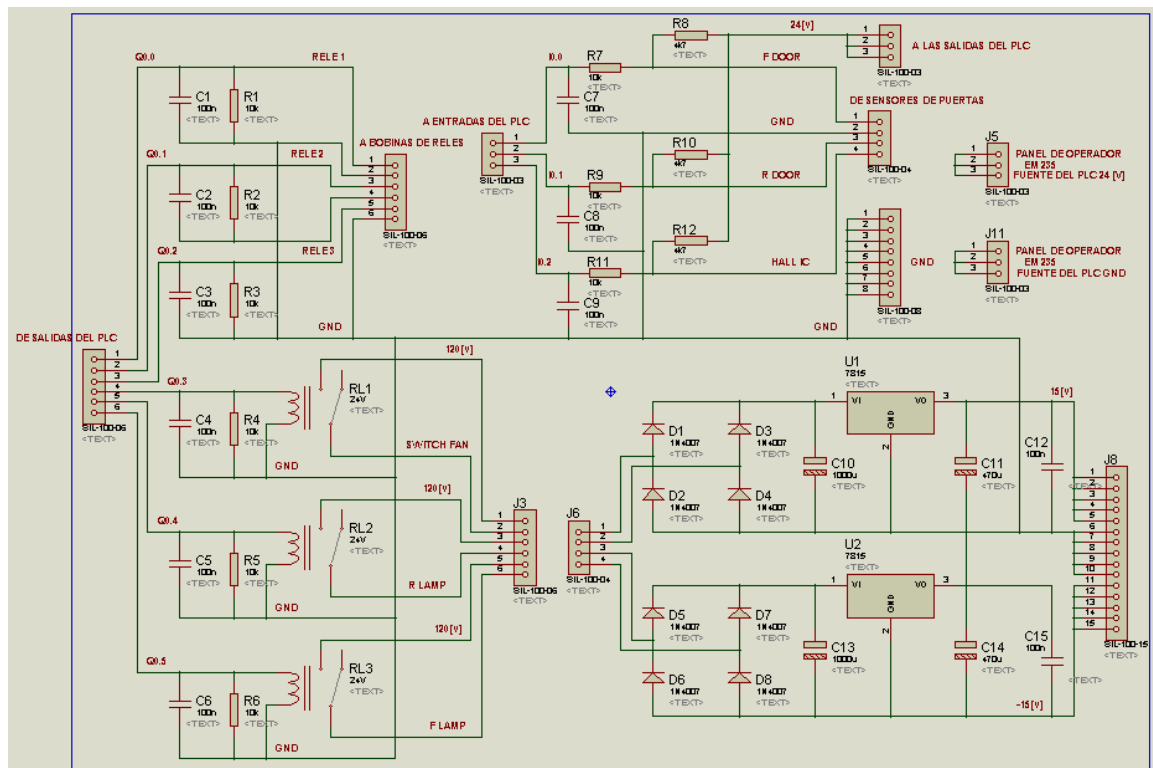


Figura 2.36 Diseño del circuito de potencia

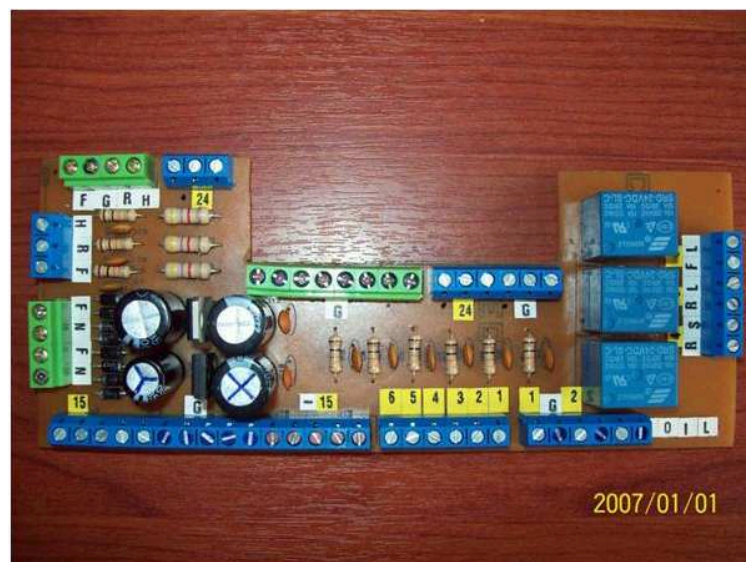


Figura 2.37 Placa de potencia

2.9 COMPARTIMENTO MECÁNICO

El Módulo de Refrigeración, cuenta en su parte posterior con el compartimento mecánico en donde se encuentra:

- Compresor FF 11.5BK
- Filtro Secador
- Ventilador
- Condensador

Como se muestra en la siguiente figura:

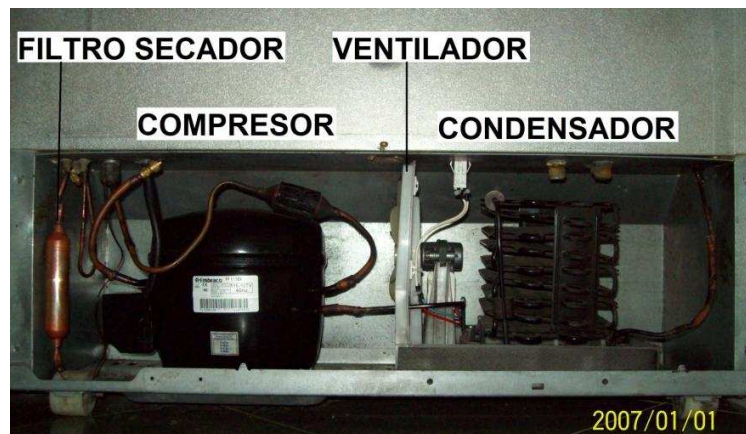


Figura 2.38 Compartimento mecánico del Módulo de Refrigeración

2.10 EQUIPOS DE CONTROL

Para la selección del equipo de control, se ha procedido a tabular el número de entradas y salidas que se necesitan para el control de los elementos, según la Tabla 2.14

El número de salidas: digitales y análogas, y el número de entradas: digitales y análogas, que se muestra a continuación

6 Salidas Digitales

- Compresor
- Swing Motor
- Lámpara del Congelador
- Lámpara del Refrigerador
- Resistencias de Deshielo
- Ventiladores

2 Entradas Digitales

- Sensor de apertura de la puerta del refrigerador
- Sensor de apertura de la puerta del congelador

6 Entradas Analógicas

- Transductores de Temperatura
- Transductores de Humedad

El resumen del número de entradas y salidas se muestra en la siguiente Tabla:

	Salidas	Entradas
Digitales	6	2
Análogas	0	6

Tabla 2.14 Número de entradas y salidas del equipo de control

2.10.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Como sistema de control, se ha seleccionado un PLC de la familia S7-200 de Siemens, principalmente por su versatilidad y por su moderado costo de implementación

La CPU S7-200 incorpora, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida. Tras haber cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida del Módulo de Refrigeración.

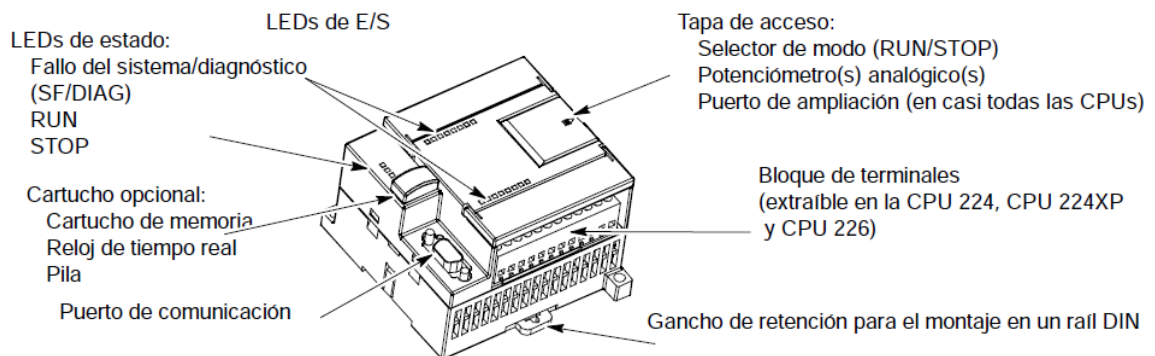


Figura 2.39 PLC S7-200 de Siemens

Para la selección del equipo de control, se han estudiado las ventajas y características de algunos modelos de la familia S7-200 de Siemens. En la Tabla 2.15 se comparan de forma resumida algunas de las funciones de las diferentes CPU.

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP, CPU 224XPSi	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120,5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa: con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (típ.)	50 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)
E/S integradas Digitales Analógicas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S 2 E/1 S	24 E/16 S
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹
Contadores rápidos Fase simple	4 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz	4 a 30 kHz 2 a 200 kHz	6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	4 a 20 kHz	3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (DC)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485

Tabla 2.15 Comparación entre las diferentes CPU S7-200

Con esta información se ha seleccionado el PLC S7-200 CPU 222, Ya que, en resumen posee 6 DO (digital output), 8 DI (digital input) y además 2 de las 8 DI, pueden configurarse como contadores rápidos, que servirán para leer los datos de los 2 transductores de humedad, ubicados en el compartimento del refrigerador y en compartimento del congelador respectivamente.

2.10.2 PANEL DE OPERADOR

Para la realización del HMI se ha seleccionado el Panel OP73micro de Siemens, ya que es de fácil uso para el usuario, y tiene la ventaja de ser alimentado directamente desde el PLC S7-200 con un voltaje de 24[v]

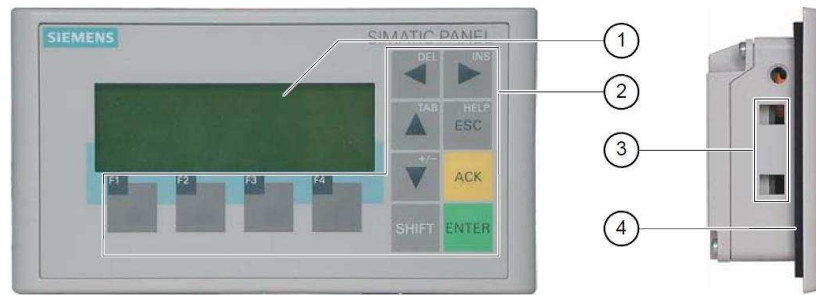


Figura 2.40 Panel de Operador Op73 micro

2.10.3 MÓDULO DE AMPLIACIÓN EM235

Para leer las 4 entradas de temperatura (2 en el compartimento del refrigerador y 2 en el compartimento del congelador), se ha seleccionado un módulo de ampliación EM235, que posee 4 AI (analog input).

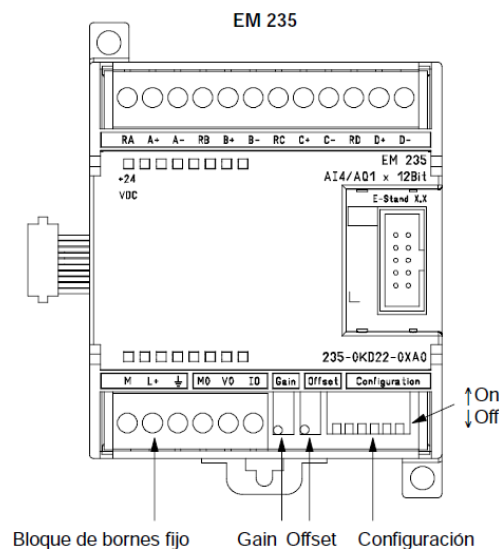


Figura 2.41 Módulo de Ampliación EM235

La Tabla 2.16 muestra cómo configurar el módulo EM 235 utilizando los interruptores DIP. El rango de entradas analógicas y la resolución se seleccionan con los interruptores 1 a 6. Todas las entradas se activan en un mismo rango y formato. La Tabla 2.16 también muestra cómo seleccionar el formato unipolar/bipolar (interruptor 6), la ganancia (interruptores 4 y 5) y la atenuación (interruptores 1, 2 y 3).

Unipolar						Rango máx.	Resolución
Int. 1	Int. 2	Int. 3	Int. 4	Int. 5	Int. 6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	0 a 50 mV	12.5 μ V
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	0 a 100 mV	25 μ V
ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	0 a 500 mV	125 μ V
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	0 a 1 V	250 μ V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 5 V	1,25 mV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 20 mA	5 μ A
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 10 V	2,5 mV
Bipolar						Rango máx.	Resolución
Int. 1	Int. 2	Int. 3	Int. 4	Int. 5	Int. 6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	\pm 25 mV	12.5 μ V
OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	\pm 50 mV	25 μ V
OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	\pm 100 mV	50 μ V
ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	\pm 250 mV	125 μ V
OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	\pm 500 mV	250 μ V
OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	\pm 1 V	500 μ V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	\pm 2,5 V	1,25 mV
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	\pm 5 V	2,5 mV
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	\pm 10 V	5 mV

Tabla 2.16 Interruptores de configuración del EM 235

Se ha seleccionado un formato bipolar, ya que las lecturas de temperatura que reciba el EM235, serán valores positivos (+) y negativas (-) en un rango máximo de ± 1 [V], provenientes del sensor de temperatura LM35

2.10.4 CABLE MULTIMAESTRO USB/PPI

El cable multimaestro USB/PPI es un dispositivo “plug and play” utilizable con PCs que soporten la versión USB 1.1. Proporciona aislamiento eléctrico entre el PC y la red S7-200, soportando la comunicación PPI a velocidades de transferencia de hasta 187,5 kbit/s.

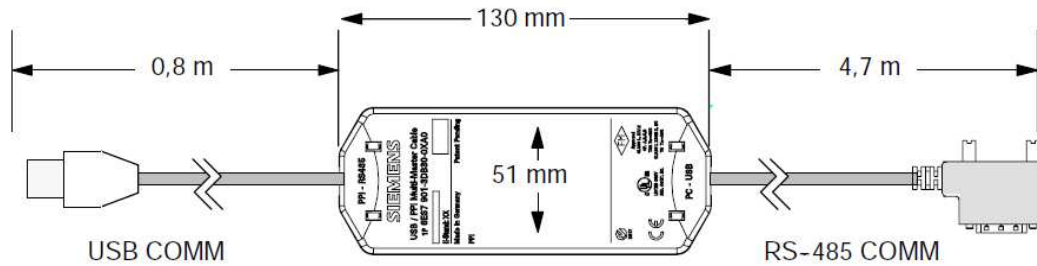


Figura 2.42 Cable Multimaestro USB/PPI

El cable multimaestro USB/PPI tiene LEDs que indican las actividades de comunicación tanto del PC como de la red.

- El LED Tx indica que el cable está transmitiendo datos al PC.
- El LED Rx indica que el cable está recibiendo datos del PC.
- El LED PPI indica que el cable está transmitiendo datos a la red.

Puesto que los cables multimaestro pueden tener el “token” en su poder, el LED PPI se enciende continuamente una vez que STEP 7-Micro/WIN haya inicializado la comunicación. El LED PPI se apaga cuando se finalice la conexión con STEP 7-Micro/WIN. El LED PPI parpadea a una frecuencia de 1 Hz cuando esté esperando ingresar a la red.

Asignación de pines del conector RS-485		Asignación de pines del conector USB	
Nº de pin	Descripción de la señal	Nº de pin	Descripción de la señal
1	Sin conexión	1	USB DataP
2	Hilo de retorno 24 V (tierra RS-485)	2	USB DataM
3	Señal B (Rx/D/TxD+)	3	USB 5V
4	RTS (nivel TTL)	4	Masa USB
5	Sin conexión		
6	Sin conexión		
7	Alimentación 24 V		
8	Señal A (Rx/D/TxD-)		
9	Selección de protocolo (bajo = 10 bits)		

Tabla 2.17 Asignación de pines para el conector de RS-485 a USB

2.10.5 CABLE DE RED PROFIBUS

Siemens ofrece dos tipos de conectores de bus que permiten conectar fácilmente varios aparatos a una red: un conector de bus estándar (Figura 2.43), y un conector que incorpora un puerto de programación (Figura 2.44), permitiendo conectar una PC o un dispositivo HMI a la red, sin perturbar el enlace existente.

El conector con puerto de programación transmite todas las señales del S7-200 (incluyendo los pines de potencia), siendo especialmente apropiado para conectar equipos alimentados por el S7-200.



Figura 2.43 Conector Profibus estándar



Figura 2.44 Conector Profibus con puerto de programación

El cable profibus que se muestra en la Figura 2.45 tiene dos hilos uno de color verde y otro rojo, que son transmisión (Tx) y recepción (Rx) respectivamente



Figura 2.45 Cable de red Profibus

Ambos conectores poseen juegos de tornillos para fijar los cables de entrada y salida. Se debe asegurar de que la malla de tierra de los cables, haga contacto con la tierra de los conectores, de esta manera se garantizará la reducción de ruido de interferencia en la comunicación.

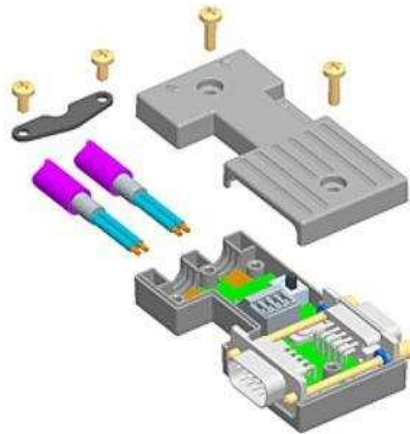


Figura 2.46 Fijación del cable Profibus a los conectores

Profibus es un sistema de bus para la comunicación de procesos en redes de células, con pocas estaciones o equipos de campo y para la comunicación de datos según la norma IEC 61158/EN 50 170. Los dispositivos de automatización, tales como PLC, PC, equipos HMI, sensores o actuadores, pueden comunicarse a través de un bus unificado. El cable terminado se muestra en la Figura 2.47



Figura 2.47 Cable de red Profibus

Ambos conectores disponen de interruptores para polarizar y cerrar la red de forma selectiva, la Figura 2.48 muestra cómo polarizar y cerrar el cable de red.

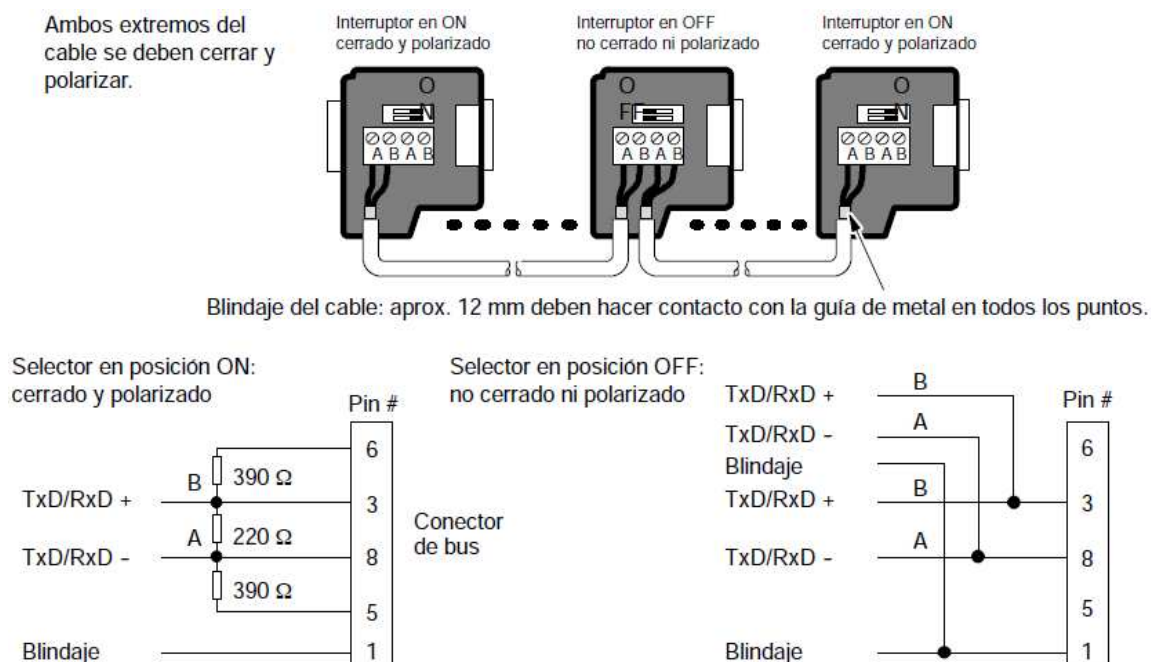
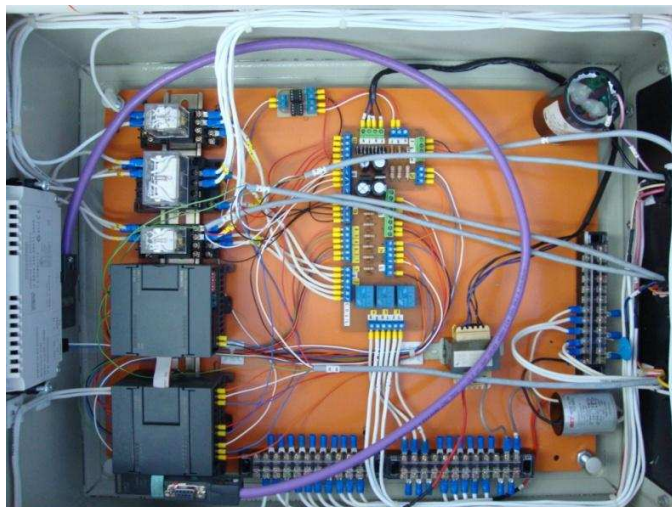


Figura 2.48 Polarización y cierre del cable de red

2.11 TABLERO DE CONTROL

El diseño del diagrama eléctrico de conexiones se lo ha diseñado en Microsoft Visio 2010 y se muestra en el Anexo 5.



CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

El PLC s7-200 constituye la parte central del control del Módulo de Refrigeración. A continuación se detallará el programa de control implementado y la interfaz hombre máquina. El acondicionamiento para los sensores de humedad y temperatura, se la ha realizado por software mediante ecuaciones, que serán descritas en el capítulo. El programa de control para el PLC se ha desarrollado en Step 7-Micro/WIN SP9, y el HMI se ha realizado en WinnCC Flexible versión Micro de Siemens y la lógica de control se explicará en un diagrama de flujo, y en lenguaje estructurado.

3.1 STEP 7-MICRO/WIN SP9

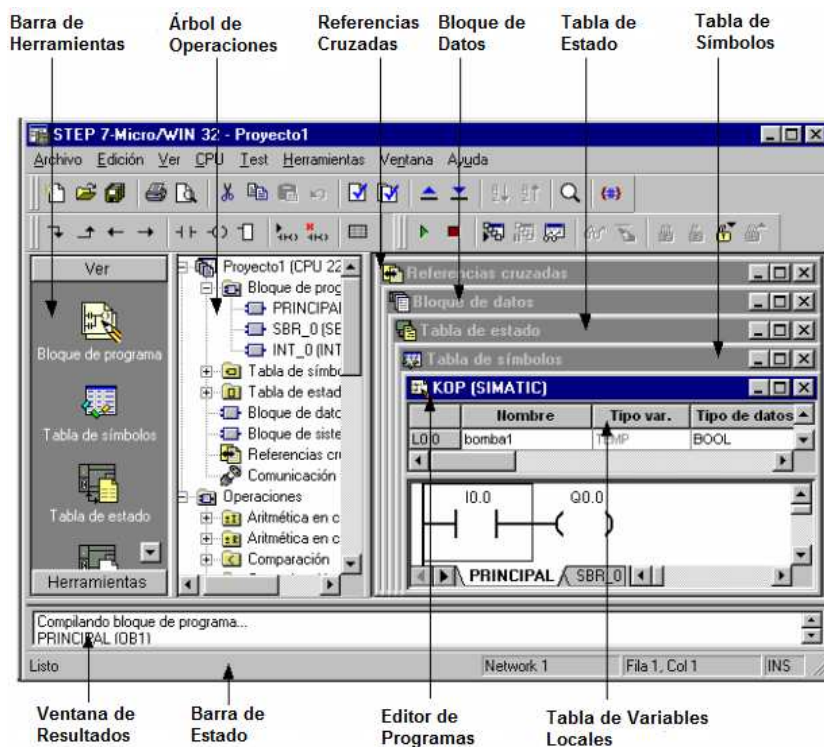


Figura 3.1 STEP 7-Micro/WIN SP9

Barra de navegación: Incorpora grupos de botones para facilitar la programación

Árbol de operaciones: Ofrece una vista en árbol de todos los objetos del proyecto y de todas las operaciones disponibles en el editor de programas actual (KOP, FUP o AWL). Para insertar unidades de organización del programa adicionales (UOPs) en el área de proyectos del árbol hacer clic con el botón derecho del ratón en la carpeta en cuestión. También se puede pulsar el botón derecho del ratón en una UOP para abrirla, borrarla, modificar su hoja de propiedades, protegerla con contraseña, o bien para cambiar el nombre de subrutinas y rutinas de interrupción.

Referencias cruzadas: Permite visualizar las referencias cruzadas y los elementos utilizados en el programa.

Bloque de datos: Sirve para visualizar y editar el contenido del bloque de datos

Tabla de estado: Permite observar el estado de las entradas, salidas y variables del programa. Es posible crear varias Tablas de estado para visualizar elementos de diferentes partes del programa. Cada una de esas Tablas tiene su propia ficha en la ventana "Tabla de estado"

Tabla de símbolos/Tabla de símbolos globales: Sirven para asignar y editar símbolos globales (es decir, valores simbólicos que se pueden utilizar en cualquier unidad de organización del programa (UOP) y no sólo en la UOP donde se ha creado el símbolo). Es posible crear varias Tablas de símbolos. Al proyecto se puede agregar una Tabla predefinida de símbolos de sistema S7-200.

Ventana de resultados: Esta opción sirve para visualizar mensajes de información cuando se compila el programa de usuario, o bien una librería de operaciones. Si se indican errores en esa ventana, puede hacer doble en un

mensaje de error. El segmento en cuestión se visualizará entonces en la ventana del editor de programas.

Barra de estado: Informa acerca del estado de las funciones que se ejecutan en STEP 7-Micro/WIN.

Editor de programas: Contiene la Tabla de variables locales y la vista del programa correspondiente al editor (KOP, FUP, o bien AWL) utilizado en el proyecto actual. En caso necesario, la línea divisoria se puede arrastrar para ampliar la vista del programa y cubrir la Tabla de variables locales. Si se ha creado subrutinas o rutinas de interrupción además del programa principal (OB1), aparecerán fichas en el lado inferior de la ventana del editor de programas. Para desplazarse entre las subrutinas, las rutinas de interrupción y el programa principal (OB1), hacer clic en la ficha en cuestión.

Tabla de variables locales: Contiene las asignaciones hechas a las variables locales (es decir, a las variables utilizadas por las subrutinas y las rutinas de interrupción).

Las variables creadas en la Tabla de variables locales utilizan la memoria temporal. El sistema se encarga de gestionar la asignación de direcciones. Las variables locales sólo se pueden utilizar en la unidad de organización del programa (UOP) donde se hayan creado.

Barra de menús: Sirve para ejecutar funciones utilizando el ratón, o bien combinaciones de teclas. El menú Herramientas se puede personalizar añadiendo aplicaciones propias.

Barras de herramientas: Permiten acceder fácilmente con el ratón a las funciones de STEP 7-Micro/WIN utilizadas con frecuencia. El contenido y el aspecto de cada una de las barras de herramientas se pueden personalizar

STEP 7-Micro/WIN ofrece tres editores para crear programas: Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás.

3.2 COMUNICACIONES EN RED

El S7-200 soporta redes compuestas por maestros y esclavos, pudiendo actuar tanto de maestro como de esclavo en una red PROFIBUS. En cambio, STEP 7-Micro/WIN actúa siempre de maestro.

3.2.1 MAESTROS

Los maestros pueden enviar una petición a otros aparatos de la red. Un maestro también puede responder a las peticiones de otros maestros incorporados en la red. Algunos maestros típicos son STEP 7-Micro/WIN, interfaces hombre-máquina (HMI), tales como el OP73 micro. El S7-200 actúa solo de maestro cuando le solicita información a otro S7-200 (comunicación punto a punto).

3.2.2 ESCLAVOS

Un aparato que se haya configurado como esclavo sólo puede responder a las peticiones de un maestro. Un esclavo no puede iniciar una petición. El S7-200 actúa de esclavo en la mayoría de las redes. En su calidad de esclavo, el S7-200 responde a las peticiones de un maestro de la red, por ejemplo a un panel de operador o al STEP 7-Micro/WIN.

3.2.3 PROTOCOLOS PARA LA COMUNICACIÓN EN LA RED

A continuación se indican los protocolos soportados por las CPUs S7-200.

- Interfaz punto a punto (PPI)
- Interfaz multipunto (MPI)
- PROFIBUS

Basándose en la intercomunicación de sistemas abiertos (OSI) de la arquitectura de siete capas, estos protocolos se implementan en una red “token ring” (red de anillo con testigo) conforme al estándar PROFIBUS, definido en la Norma Europea EN 50170. Se trata de protocolos asíncronos de caracteres que utilizan un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad par y un bit de parada. Los bloques de comunicación dependen de los caracteres especiales de inicio y de parada, de las direcciones de estación de fuente y de destino, de la longitud de los bloques y de la suma de verificación para garantizar la integridad de los datos. Los protocolos se pueden utilizar simultáneamente en una red sin que interfieran entre sí, con la condición de que usen una misma velocidad de transferencia.

3.2.3.1 Protocolo multimaestro PPI

El Protocolo de comunicación que se ha utilizado en esta tesis, es el Multimaestro PPI (Point to Point Interface), es un protocolo de comunicación maestro-esclavo, a diferencia del protocolo MPI que soporta las comunicaciones maestro-maestro y maestro-esclavo. Los maestros envían peticiones a los esclavos y éstos responden como se muestra en la Figura 3.2. Los esclavos no inician mensajes, sino que esperan a que un maestro les envíe una petición o solicite una respuesta.

Los maestros se comunican con los esclavos vía un enlace compartido que es gestionado por el protocolo PPI. El protocolo PPI no limita el número de maestros que se pueden comunicar con un mismo esclavo. Sin embargo la red no puede comprender más de 32 maestros.

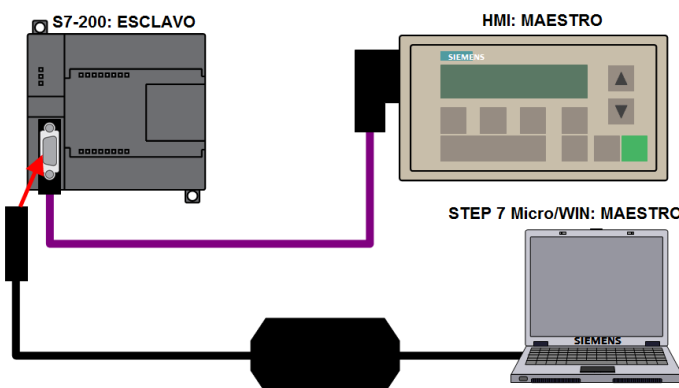


Figura 3.2 Red multimaestro PPI

Tanto STEP 7-Micro/WIN como el dispositivo HMI son maestros y deben tener direcciones de estación unívocas. La CPU S7-200 actúa de esclava.

La dirección de estación es un número unívoco que se asigna a cada aparato de la red. La dirección de estación unívoca garantiza que los datos sean enviados al o recibidos del aparato correcto. El S7-200 soporta direcciones de estación comprendidas entre 0 y 126.

En la Tabla 3.1 figuran los ajustes de dirección de los equipos S7-200.

Equipo S7-200	Dirección estándar
STEP 7-Micro/WIN	0
HMI (TD 200, TP u OP)	1
CPU S7-200	2

Tabla 3.1 Direcciones estándar de los equipos S7-200

3.2.4 SELECCIÓN DE LA INTERFACE DE COMUNICACIÓN

El S7-200 soporta numerosos tipos de redes de comunicación. La red se selecciona en el cuadro de diálogo “Ajustar interface PG/PC”. Una red seleccionada se denomina una interfaz. A continuación se indican los diferentes tipos de interfaces disponibles para acceder a las redes de comunicación:

- Cables multimaestro PPI
- Procesadores de comunicaciones
- Tarjetas de comunicación Ethernet

La interfaz de comunicación que se ha utilizado en esta tesis, es el Cable multimaestro USB/PPI como se indica a continuación



Figura 3.3 Interfaz de comunicación

3.2.5 VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y DIRECCIÓN DEL STEP 7

La velocidad de transferencia debe ser igual a la de los demás equipos que conforman la red, en tanto que la dirección de estación deberá ser unívoca acorde a la Tabla 3.1, como se muestra a continuación



Figura 3.4 Configuración de Step 7-Micro/WIN

3.2.6 VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA Y DIRECCIÓN DEL S7-200

Es preciso configurar la velocidad de transferencia y la dirección de estación del S7-200, acorde a la Tabla 3.1. Estos dos parámetros se almacenan en el “bloque de sistema” como se muestra a continuación

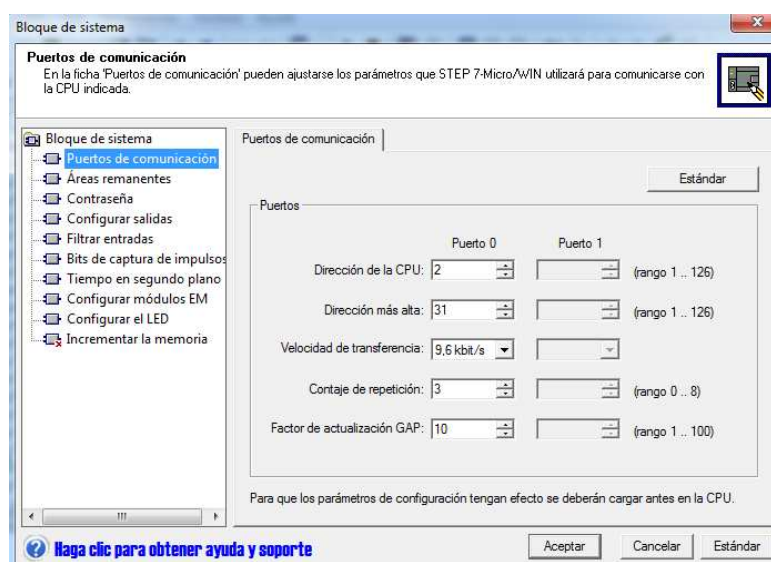


Figura 3.5 Configuración del S7-200

Finalmente la comunicación entre Step 7-Micro/WIN y el S7-200 ha quedado establecida, como se muestra en la siguiente figura:

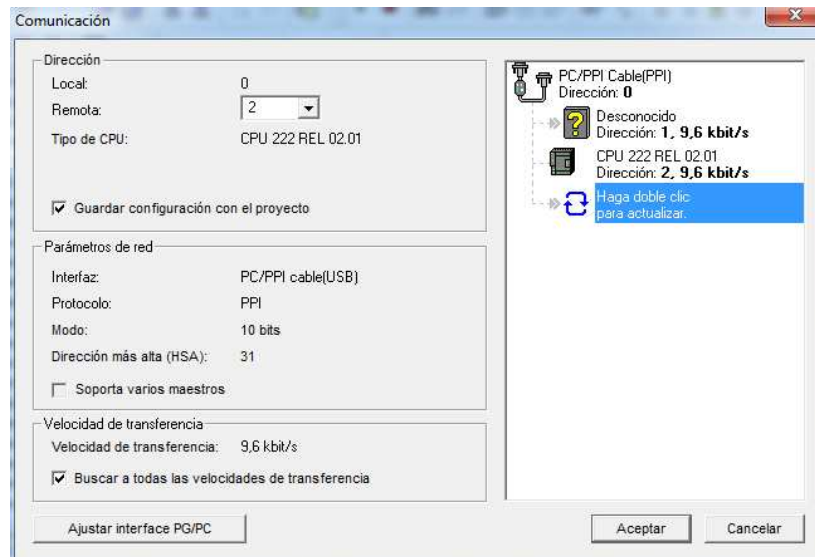


Figura 3.6 Comunicación entre Step 7-Micro/WIN y el S7-200

3.3 WinCC FLEXIBLE 2008

Un sistema HMI representa la interfaz entre el operador y el proceso. El autómata posee el verdadero control sobre el proceso. Por lo tanto existe una interfaz entre el operador y WinCC flexible (en el panel de operador) y una interfaz entre WinCC flexible y el autómata. Un sistema HMI se encarga de:

- **Representar procesos:** El proceso se representa en el panel de operador. Si se modifica por ejemplo un estado en el proceso, se actualizará la visualización en el panel de operador.
- **Controlar procesos:** El operador puede controlar el proceso a través de la interfaz gráfica de usuario. Por ejemplo, el operador puede especificar un valor teórico para el autómata o iniciar el funcionamiento del compresor.

- **Emitir avisos:** Si durante el proceso se producen estados de proceso críticos, automáticamente se emite un aviso (por ejemplo, si se sobrepasa un valor límite especificado).
- **Archivar valores de proceso y avisos:** El sistema HMI puede archivar avisos y valores de proceso. De esta forma se puede documentar el comportamiento del proceso y, posteriormente, también será posible acceder a anteriores datos de producción.
- **Documentar valores de proceso y avisos:** El sistema HMI permite visualizar avisos y valores de proceso en informes. De este modo podrá, por ejemplo, emitir los datos de producción una vez finalizado el turno.
- **Administrar parámetros de proceso y parámetros de máquina:** El sistema HMI permite almacenar los parámetros de proceso y de máquina en Recetas. Dichos parámetros se pueden transferir, por ejemplo, desde el panel de operador al autómatas en un solo paso de trabajo para que la producción cambie a otra gama de productos.

La edición de WinCC flexible determina que paneles de operador se pueden configurar, acorde a la Figura 3.7

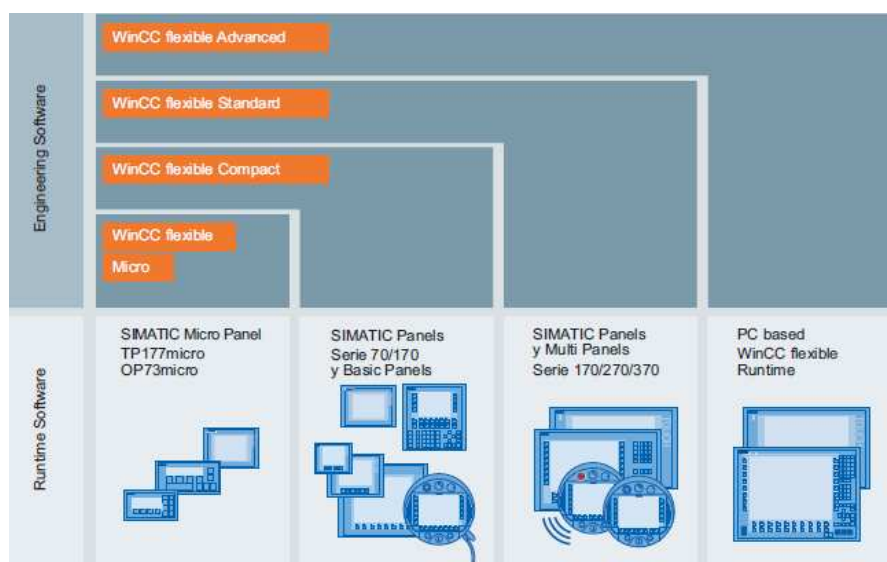


Figura 3.7 Ediciones de WinCC Flexible

La versión Micro de WinCC Flexible permite programar, crear y editar proyectos para instalaciones con paneles de operador de la gama de Micro, como el OP73

3.3.1 CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO

Para crear un nuevo proyecto se ha utilizado la ayuda del asistente de proyectos

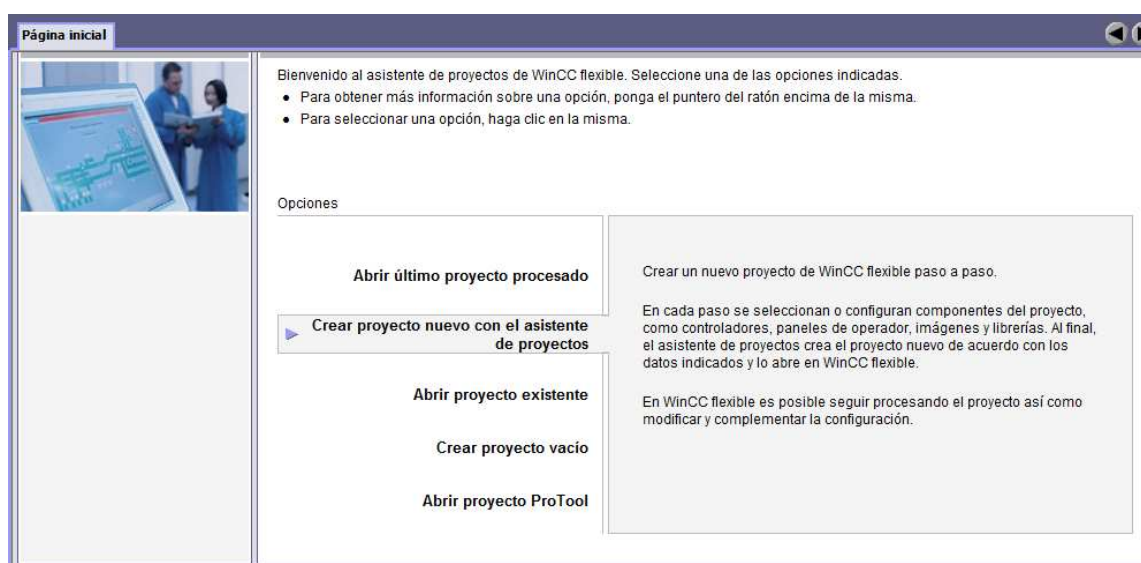


Figura 3.8 Creación de un nuevo proyecto

La conexión utilizada en esta tesis es una “máquina simple” ya que el PLC está asociado solo con un Panel de Operador

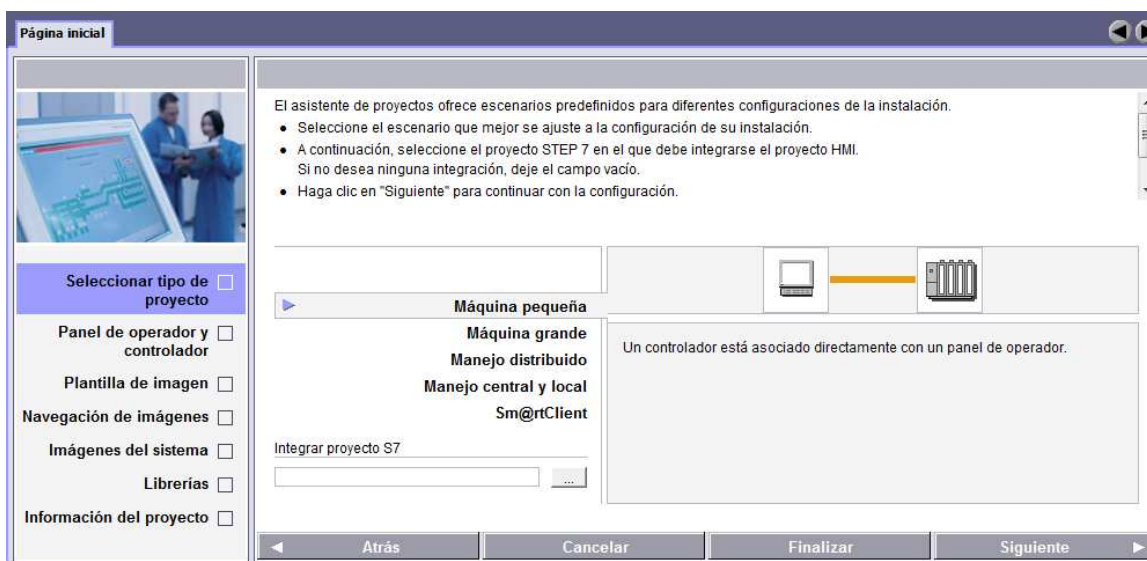


Figura 3.9 Conexión entre el PLC y el Panel de Operador

Se ha seleccionado el Panel de Operador OP73micro y el Autómata S7-200, que son los utilizados en esta tesis

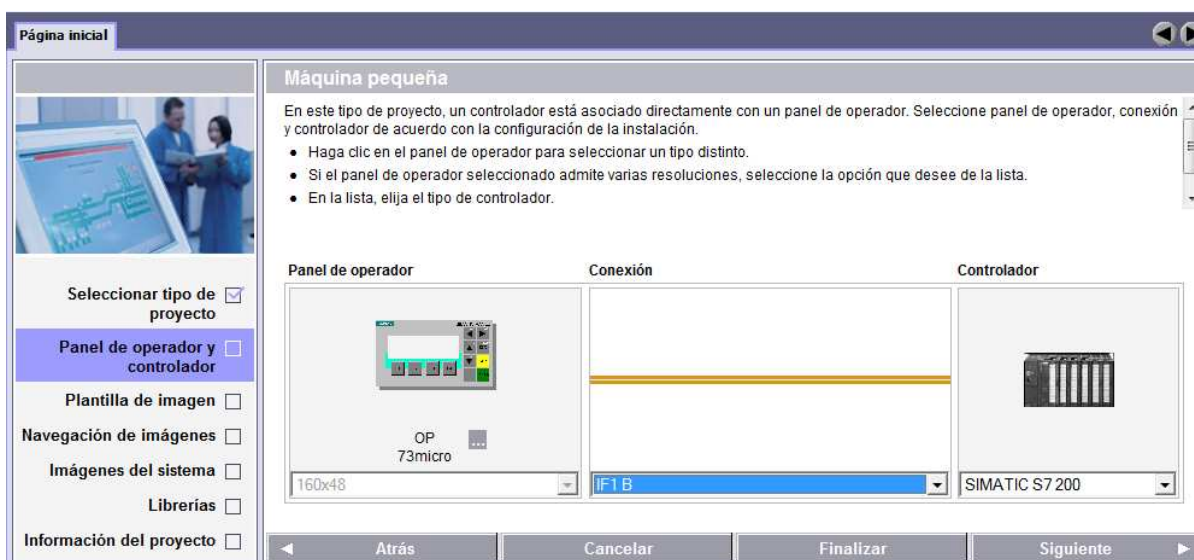


Figura 3.10 Selección del Panel de Operador

Al crear un proyecto en WinCC flexible o al abrir uno ya existente, aparece la estación de trabajo de WinCC flexible en la pantalla del equipo de configuración, como se muestra a continuación



Figura 3.11 Ventanas de WinnCC Flexible

En el área de trabajo se editan los objetos del proyecto. Todos los elementos de WinCC flexible se agrupan entorno al área de trabajo.

En la ventana de proyecto se visualizan en una estructura de árbol todos los componentes y editores disponibles de un proyecto, pudiéndose abrir desde allí. Además, a partir de dicha ventana es posible acceder a las propiedades del proyecto, así como a la configuración del panel de operador.

En la ventana de propiedades se editan las propiedades de los objetos, por ejemplo el color de los objetos de imagen.

La ventana de herramientas contiene una selección de objetos que se pueden insertar en las imágenes, tales como los objetos Figuras o los elementos de mando. Asimismo, la ventana de herramientas dispone de librerías con objetos ya preparados, así como de colecciones de bloques de imagen.

La ventana de resultados presenta los avisos del sistema, como errores y advertencias generados al compilar o transferir un proyecto

3.3.2 CONEXIÓN ENTRE EL S7-200 Y EL OP73

Para que la conexión de la red quede establecida correctamente, tal como se muestra en la Figura 3.2, es necesario que la configuración del OP73micro sea coherente con la Figura 3.6 y con la Tabla 3.1, para ello se ha establecido los parámetros de configuración indicados en la siguiente Figura:

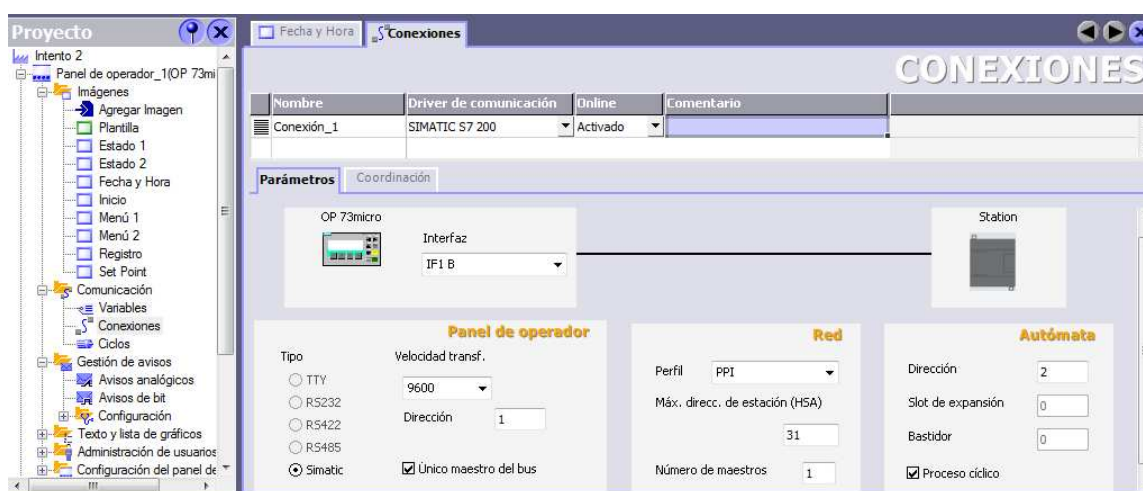


Figura 3.12 Configuración del Panel de Operador

3.3.3 CREACIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes son los elementos principales del proyecto. Permiten controlar y visualizar el sistema de refrigeración por ejemplo: indicar los valores de temperatura y humedad, o bien prender y apagar los ventiladores de dosificación

Las imágenes contienen objetos tales como campos de salida, campos de texto o campos de visualización. En el siguiente Figura se observa la lista de imágenes creadas en el proyecto.

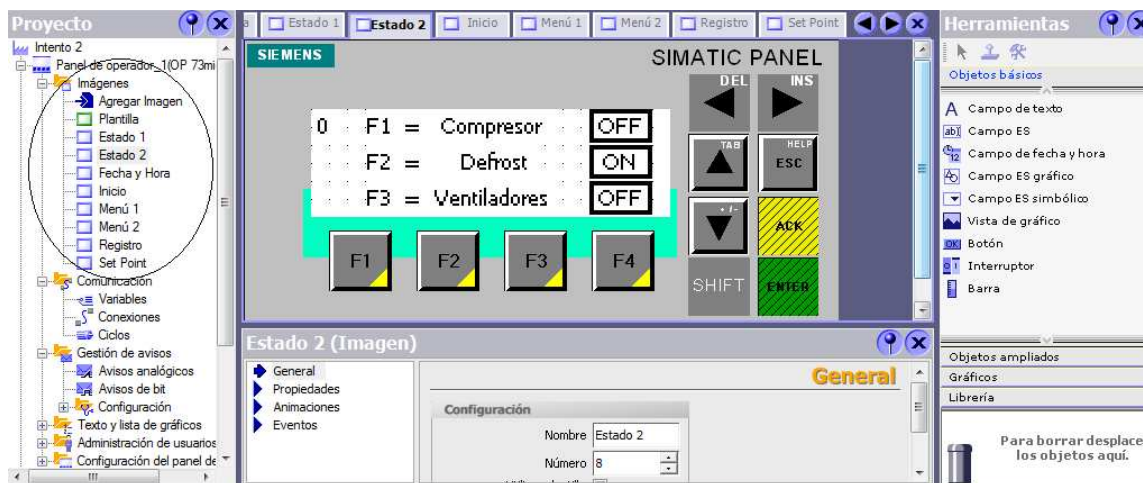


Figura 3.14 Creación de imágenes en Wincc

3.3.4 CREACIÓN DE VARIABLES

Las variables permiten guardar los estados en que se encuentra el sistema, estas puede tener datos boléanos, word, reales, etc. El tipo y el nombre de la variable creada en WinCC deberá coincidir con el tipo y nombre de la variable creada en Step 7-Micro/WIN.

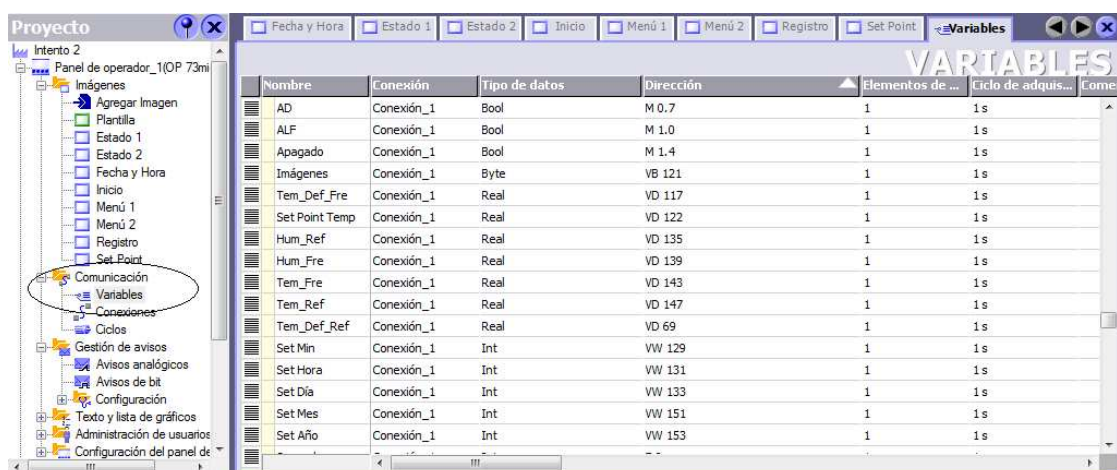


Figura 3.14 Creación de variables en Wincc

3.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

3.4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA

Para poder convertir a grados centígrados los valores de voltaje el módulo EM235 lee desde los 4 sensores LM35, se ha utilizado un escalado bipolar, ya que la lectura comprende un rango de valores positivos y negativos, entre ± 1 [v] como se muestra en el siguiente Figura:

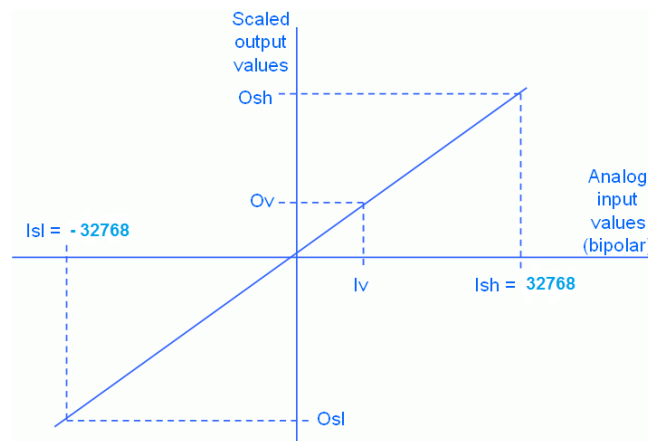


Figura 3.15 Escalado bipolar

Parámetro	Descripción
Ov	Valor de salida escalado (Output value)
Iv	Valor de entrada analógico (Input value)
Osh	Valor límite superior de la escala para el valor de salida escalado (Output scale high)
Osl	Valor límite inferior de la escala para el valor de salida escalado (Output scale low)
Ish	Valor límite superior de la escala para el valor de entrada analógico (Input scale high)
Isl	Valor límite inferior de la escala para el valor de entrada analógico (Input scale low)

Tabla 3.2 Descripción de parámetros del escalado bipolar

El LM35 opera con un factor de escala de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ por lo tanto, si la temperatura registrada por el sensor es de 100°C entonces la salida del LM35 dará 1[v], como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \times 100^{\circ}\text{C} = 1[\text{V}] \quad (1)$$

El módulo de ampliación EM235 tiene una resolución de lectura de 15 bits, más 1 bit de signo en bipolar, y una resolución de 16 bits en modo unipolar. El módulo está configurado para que cuando sus entradas analógicas lean un valor de +1[V], éste lo transforme a un valor decimal de +32767, y cuando las entradas lean un valor de -1[V], éste lo transforme a un valor decimal de -32767, como se muestra en la Tabla 3.3

Punto	X (Valor digital)	Y (Temperatura)
1	-32767	-100°C
2	32767	100°C

Tabla 3.3 Tabulación de datos

Con en estos datos, y sabiendo que la salida del sensor LM35 es lineal, se ha procedido a encontrar la ecuación que define la temperatura, partiendo de la ecuación general de la línea recta, como se muestra en la siguiente demostración

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$y - (-100) = \frac{100 - (-100)}{32768 - (-32768)} (x - (-32768))$$

$$y + 100 = \frac{25}{8192} x + 100$$

$$y = \frac{25}{8192} x$$

Esta es la ecuación que se ha ingresado en el programa de control, para convertir a grados centígrados, los valores de voltaje leídos por el módulo Em235

3.4.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE HUMEDAD

Para poder convertir a humedad relativa los valores de frecuencia que lee el PLC, desde los dos sensores HS1101, se ha utilizado la ayuda de contadores rápidos según la siguiente Tabla:

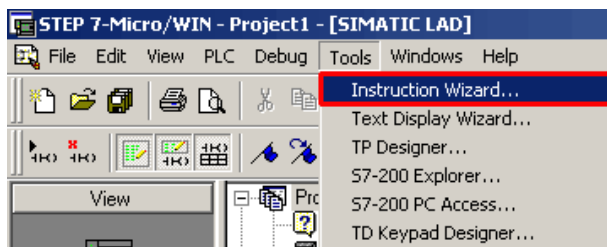
Contador rápido	Entrada de captador de pulsos	Frecuencia de entrada máxima	CPUs
HC0	E0.0	30 kHz	221, 222, 224, 224XP, 224XPsi, 226
HC1	E0.6	30 kHz	221, 222, 224, 224XP, 224XPsi, 226
HC2	E1.2	30 kHz	221, 222, 224, 224XP, 224XPsi, 226
HC3	E0.1	30 kHz	221, 222, 224, 224XP, 224XPsi, 226
HC4	E0.3	200 kHz	224XP, 224XPsi
HC5	E0.4	200 kHz	224XP, 224XPsi

Tabla 3.4 Contadores rápidos

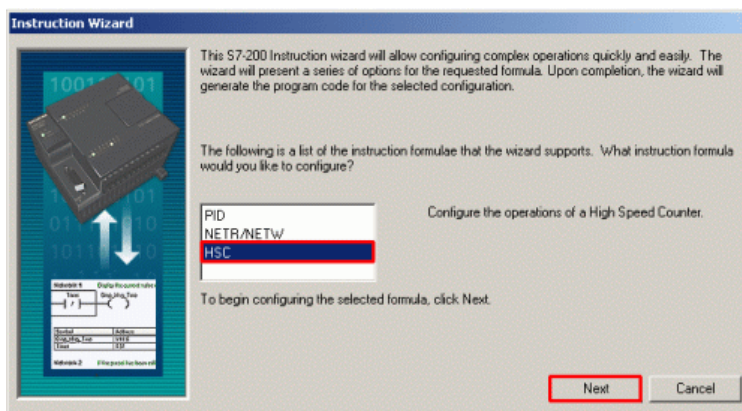
Se ha escogido el contador rápidos HC0 y el HC4 para el sensor de humedad del refrigerador y del congelador respectivamente.

Se debe ajustar la configuración de los contadores rápidos, como sigue:

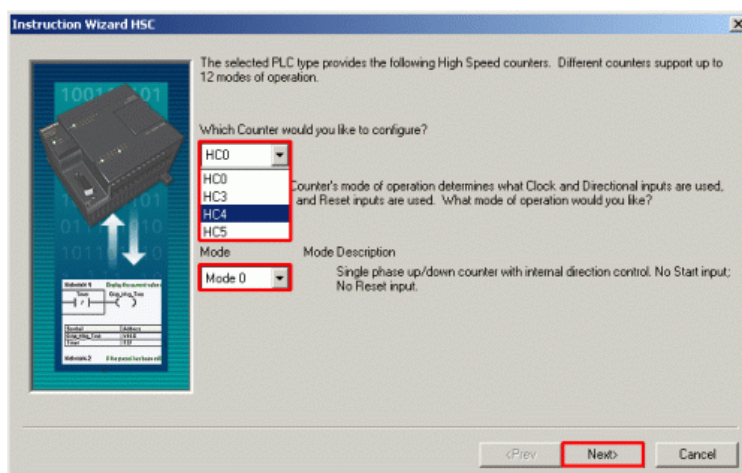
1. Abrir el "asistente de operaciones" del STEP 7-Micro/WIN desde la opción del menú "Herramientas"



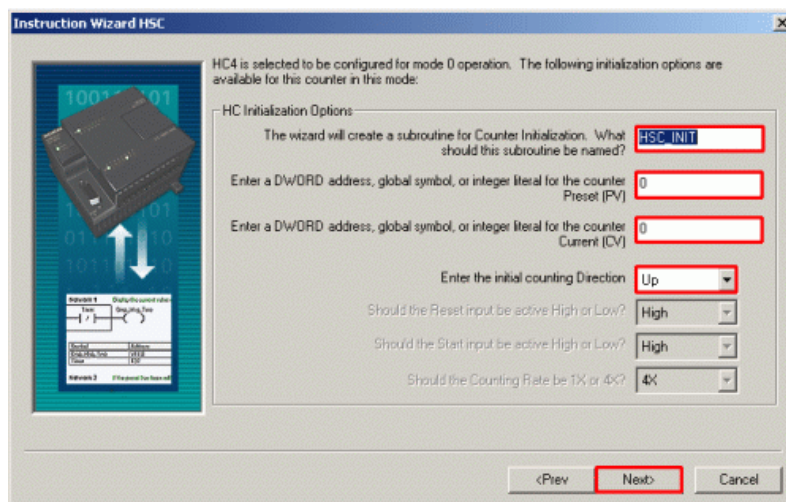
2. Seleccionar la opción contadores rápidos "HSC" en el catálogo de configuración.



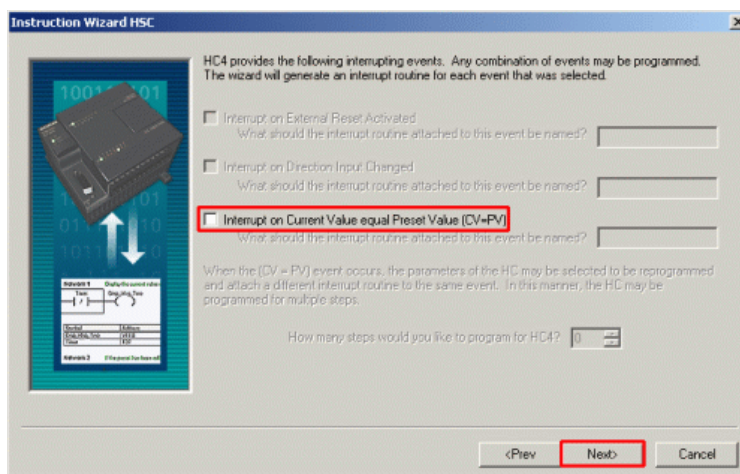
3. Dejar el modo de conteaje en "0" para realizar un conteaje hacia adelante con una sola fase y elegir uno de los contadores, "HC4" en este caso.



4. Dejar los ajustes de fábrica para las subrutinas, el preajuste de los contadores, el valor de conteaje y la dirección de conteaje



5. Dejar los ajustes de fábrica como están y no activar la casilla "Interrupción con el valor actual igual al valor preajustado (CV = PV)"



Una vez ajustado los contadores rápidos para la lectura de frecuencias, se ha procedido a tabular once pares de datos de frecuencia y humedad relativa, para analizar la ecuación que relaciona a estas dos variables:

RH	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Frecuencia	7351	7224	7100	6976	6853	6728	6600	6468	6330	6186	6033

Tabla 3.5 Respuesta de Humedad Relativa vs. Frecuencia

Con la ayuda de Microsoft Excel se ha procedido a graficar el diagrama de dispersión de las dos variables y su línea de tendencia

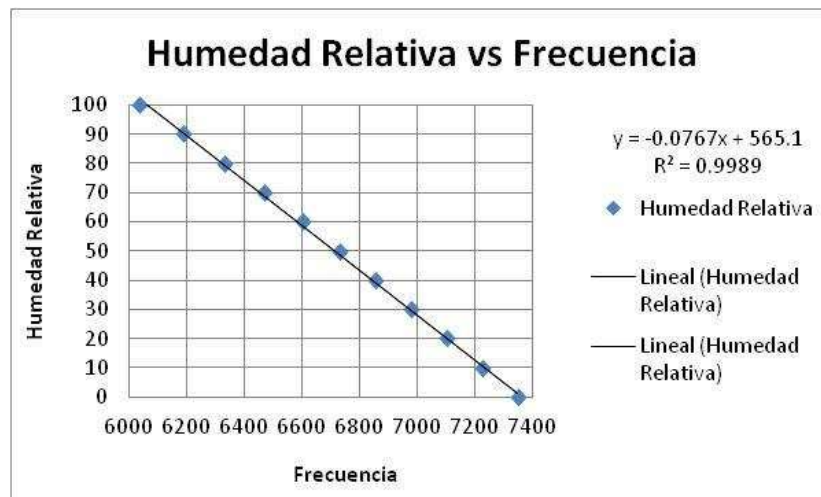


Figura 3.16 Respuesta de Humedad Relativa vs. Frecuencia

Como se puede apreciar en la Figura, la línea de tendencia es una recta cuya ecuación es:

$$HR = 565.1 - 0.0767 \times Fr \quad (2)$$

El coeficiente de correlación $R^2 = 0.9989$, nos indica que la ecuación (2) se ajusta a los datos en un 99.89%

La ecuación (2) se ha ingresado en el programa de control, para convertir a humedad relativa los valores de frecuencia leídos por el PLC

3.4.3 CONTROL ON OFF PARA LA TEMPERATURA

Para realizar el control de temperatura, se ha diseñado un sistema de control On Off con histéresis como se muestra en la siguiente Figura:

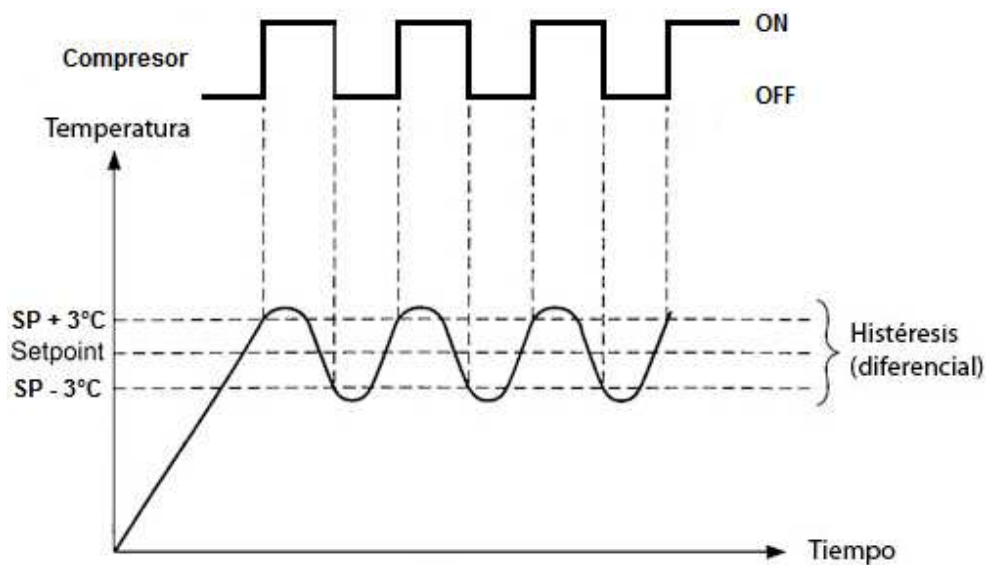


Figura 3.17 Control On Off de temperatura

El usuario ingresará el Set Point de temperatura, por medio del HMI. La ventana de histéresis se forma con un límite superior de $SP + 3^{\circ}C$ y un límite inferior de $SP - 3^{\circ}C$, tal como se muestra en la Figura 3.17.

Cuando la temperatura interna de la instalación frigorífica ha alcanzado el valor de $SP + 3^{\circ}C$, el compresor se prende para bajar la temperatura interna hasta un valor de $SP - 3^{\circ}C$, en este punto el compresor se apaga. De esta manera se mantiene la temperatura deseada dentro de una ventana de histéresis de $6^{\circ}C$.

Este tipo de control es de uso extendido en procesos industriales por su bajo costo y su sencillez en la implantación, razones por las cuales se lo ha escogido para la realización de esta tesis

3.4.4 REGISTRO DE DATOS

STEP 7-Micro/WIN y el PLC S7-200 soportan la posibilidad de guardar registros de datos. Esta función permite almacenar de forma permanente los registros que contengan datos del proceso bajo el control del programa.

Todos los registros de datos serán almacenados en un cartucho de memoria de 256 Kb, para lo cual es necesario configurar el “asistente de registro de datos”

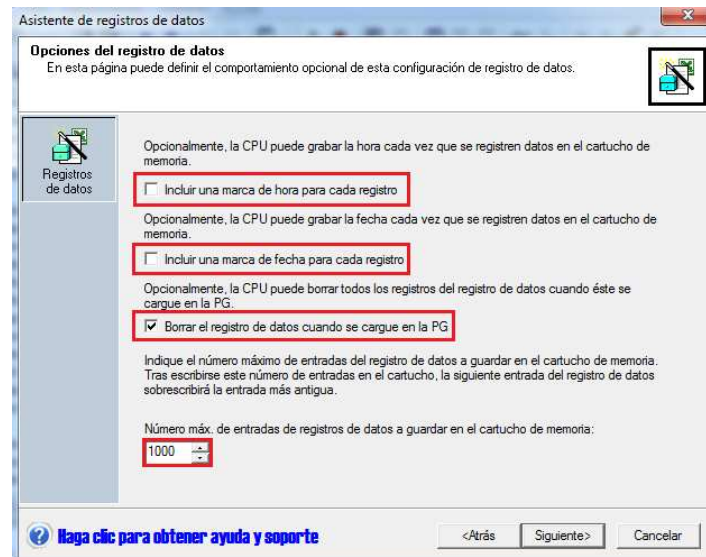


Figura 3.18 Asistente de registro de datos

Marcar la opción “borrar registro de datos” para que el registro de datos se borrado de la memoria del cartucho cada vez que sea cargado en el PC.

Las entradas de los registros de datos se guardan en un archivo cíclico (cuando se llene el registro, la entrada más reciente reemplazará a la más antigua). Es preciso definir el número máximo de entradas que se pueden guardar en el registro de datos. Un registro de datos puede contener 65.535 entradas como máximo. El valor estándar del número de registros es 1000.

Al determinar los campos para el registro de datos, cada uno de ellos se convierte en un símbolo en el proyecto. Es preciso definir un tipo de datos para cada campo, las cuatro variables que serán almacenadas en el cartucho son:

- Temperatura y humedad del refrigerador
- Temperatura y humedad del congelador

3.4.5 PROGRAMA DE CONTROL

ANSI ha desarrollado una simbología para que sea empleada en los diagramas orientados al procesamiento electrónico de datos (EDP) con el propósito de representar los flujos de información.

El programa de control cuenta con un programa principal y tres subrutinas:

- Mando manual
- Mando automático
- Configuración del panel

Para desarrollar el programa de control se ha utilizado tres equipos:

Panel de operador OP73micro

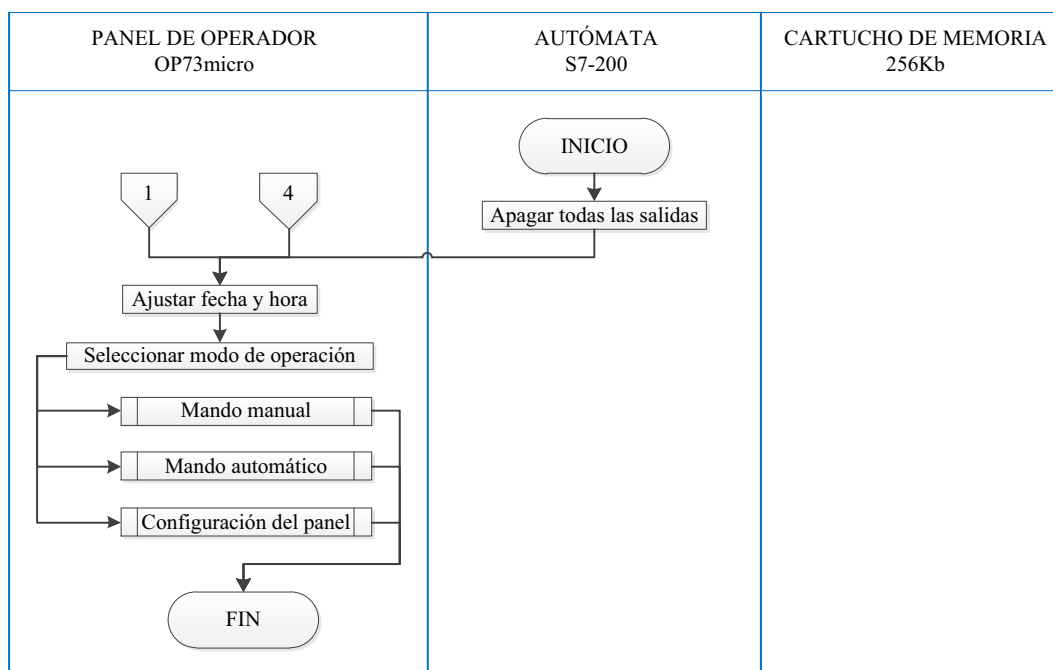
Autómata S7-200

Cartucho de memoria 256Kb

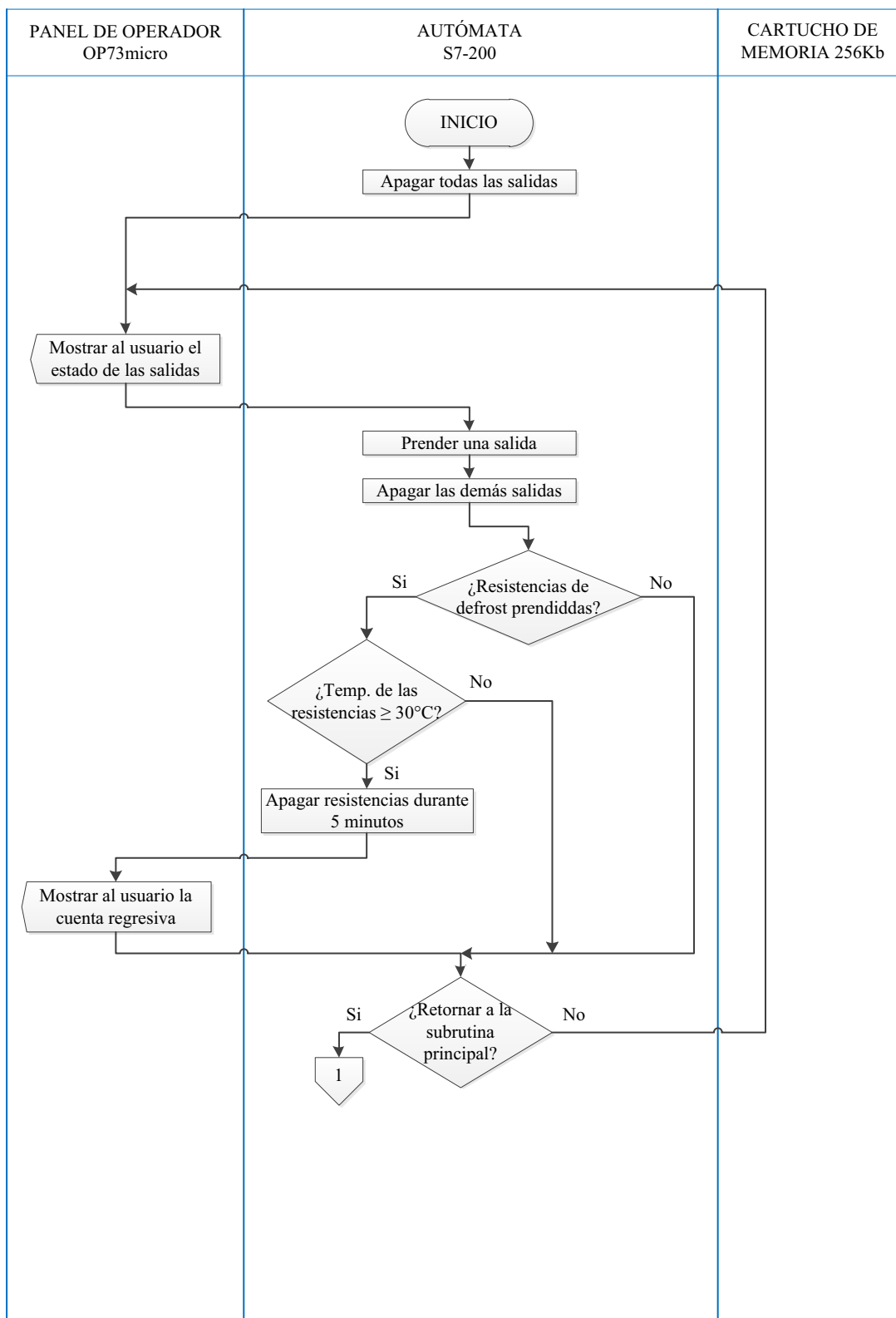
De tal manera que, una parte del programa está desarrollada en el PLC y otra en el Panel como se muestra en la Figura 3.19. El cartucho de memoria sirve exclusivamente para almacenar los valores de las variables, que son leídos por las entradas analógicas del PLC, desde las 4 placas de recolección de datos, y que luego podrán ser exportados a Microsoft Excel, para realizar un procesamiento de datos.

Para explicar la lógica de programación se ha utilizado un Diagrama de Flujo basado en esta simbología y diseñado en Microsoft Visio 2010, como se muestra a continuación

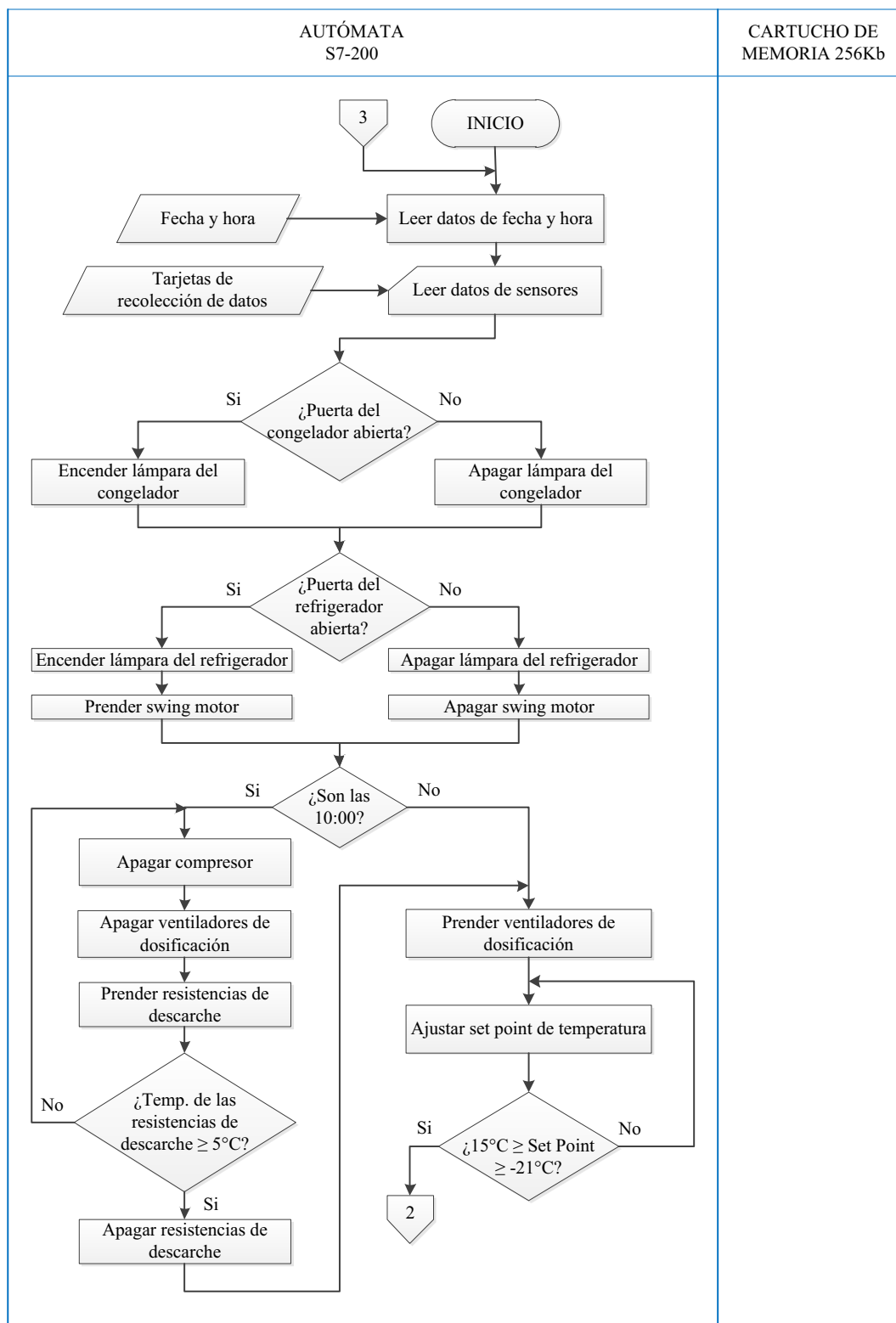
3.4.5.1 Subrutina Principal



3.4.5.2 Mando Manual



3.4.5.3 Mando Automático



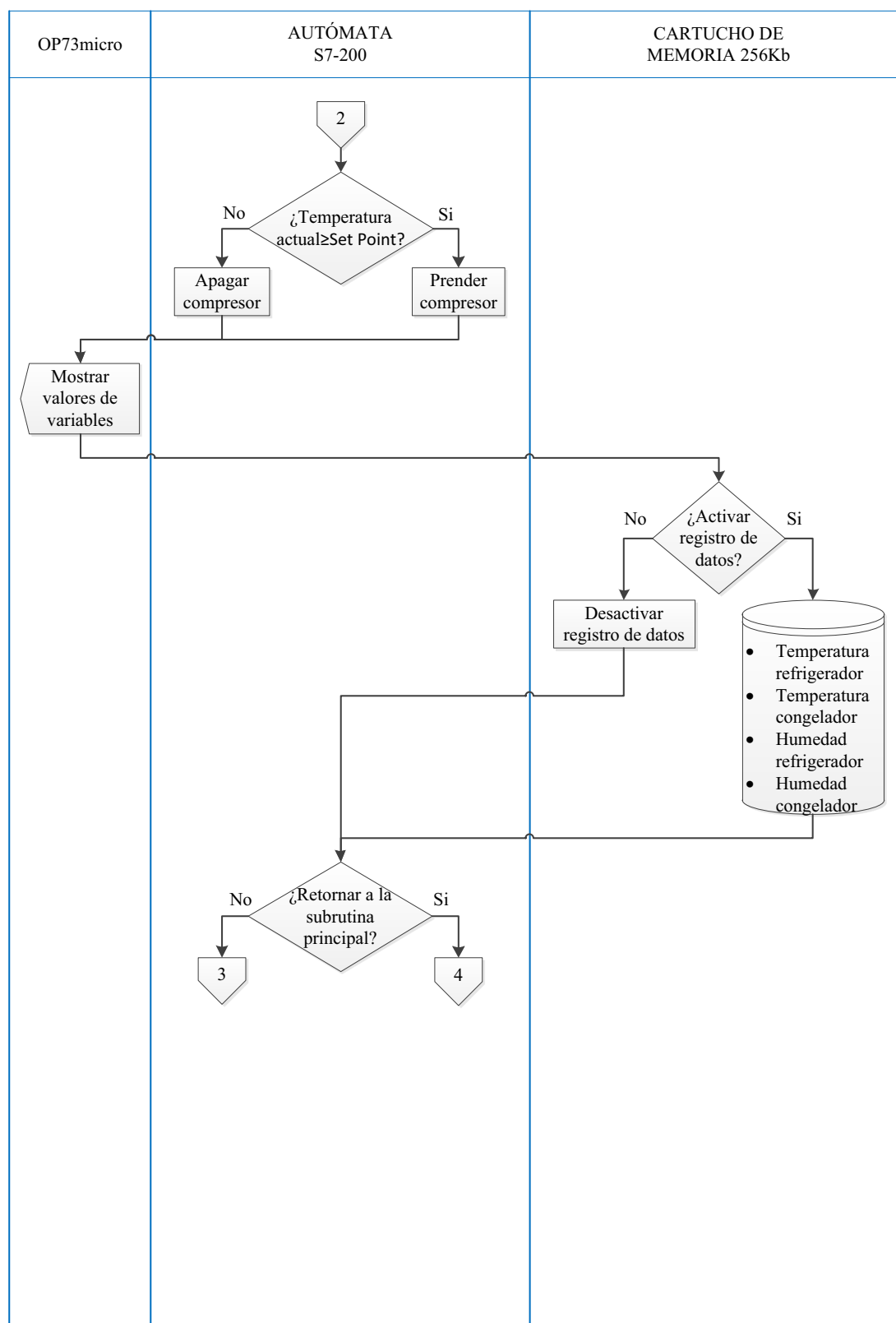


Figura 3.19 Diagrama de flujo

3.4.5.4 Lenguaje Estructurado

La estructura de las tareas del algoritmo de control se describe a continuación en lenguaje estructurado.

Programa principal

1. Apagar todas las salidas

El PLC pone en estado bajo a todas las salidas:

- Compresor
- Ventilador de dosificación del refrigerador
- Ventilador de dosificación de congelador
- Resistencia de deshielo del refrigerador
- Resistencia de deshielo del congelador
- Lámpara del congelador
- Lámpara del refrigerador
- Swing motor

Fin de tarea

2. Ajustar fecha y hora

Se ingresa la fecha y la hora actual, se disponen de los siguientes campos:

- Año
- Mes
- Día
- Hora
- Minutos

Fin de tarea

3. Seleccionar modo de operación

Se escoge el tipo de funcionamiento del módulo de refrigeración

- Mando manual

- Mando automático
- Configuración del panel

Fin de tarea

Subrutina mando manual

4. Apagar todas las salidas

El PLC pone en estado bajo a todas las salidas:

- Compresor
- Ventilador de dosificación del refrigerador
- Ventilador de dosificación de congelador
- Resistencia de deshielo del refrigerador
- Resistencia de deshielo del congelador
- Lámpara del congelador
- Lámpara del refrigerador
- Swing motor

Fin de tarea

5. Mostrar al usuario el estado de las salidas

- El plc lee el estado de sus salidas
- El panel (maestro) inicia comunicación para pedir al PLC (esclavo) el estado de las salidas
- El panel muestra el estado de las 6 salidas

Fin de tarea

6. Prender cualquiera salida

El usuario puede prender cualquiera de las 6 salidas

- Compresor
- Ventiladores de dosificación
- Resistencias de deshielo
- Lámpara del congelador

- Lámpara del refrigerador
- Swing motor

Fin de tarea

7. Apagar las demás salidas

- El plc pondrá en estado bajo todas las salidas, excepto la que haya sido prendida por el usuario

Fin de tarea

8. Apagar resistencias durante 5 minutos

- Si las resistencias de deshielo han sido prendidas y la temperatura de las mimas es mayor o igual a 30°C, entonces
- Apagar las resistencias
- Esperar 5 minutos antes de poder volver a prenderlas

Fin de tarea

9. Mostar al usuario la cuenta regresiva

- En el panel de operador, el usuario verá la cuenta regresiva de los 5 minutos

Fin de tarea

Subrutina de mando automático

10. Leer datos de fecha y hora

- El PLC leerá los datos de fecha y hora, que se encuentran almacenados en el panel de operador

Fin de tarea

11. Leer datos de sensores

El PLC leerá los valores de:

- Temperatura del congelador

- Temperatura del refrigerador
- Temperatura de la resistencia de deshielo del refrigerador
- Temperatura de la resistencia de deshielo del congelador
- Humedad relativa del refrigerador
- Humedad relativa del congelador
- Apertura o cierre de la puerta del congelador
- Apertura o cierre de la puerta del refrigerador

Fin de tarea

12. Encender lámpara del refrigerador

- Si la puerta del refrigerador está abierta, entonces se encenderá la lámpara del refrigerador

Fin de tarea

13. Prender swing motor

- Si la puerta del refrigerador está abierta, entonces se prenderá el swing motor

Fin de tarea

14. Apagar lámpara del refrigerador

- Si la puerta del refrigerador está cerrada, entonces la lámpara del refrigerador se apagará

Fin de tarea

15. Apagar swing motor

- Si la puerta del refrigerador está cerrada, entonces el swing motor se apagará

Fin de tarea

16. Encender lámpara del congelador

- Si la puerta del congelador está abierta, entonces se encenderá la lámpara del congelador

Fin de tarea

17. Apagar lámpara del congelador

- Si la puerta del congelador está cerrada, entonces la lámpara del congelador se apagará

Fin de tarea

18. Apagar compresor

- Si son las 10:00 de la mañana, entonces el PLC apagará el compresor.

Fin de tarea

19. Apagar ventiladores de dosificación

- Si son las 10:00 de la mañana, entonces el PLC apagará los dos ventiladores de dosificación.

Fin de tarea

20. Prender resistencias de deshielo

- Si son las 10:00 de la mañana, entonces el PLC prenderá las resistencias de deshielo del refrigerador y del congelador.

Fin de tarea

21. Apagar resistencias de deshielo

- Si la temperatura de las resistencias de deshielo es mayor o igual a 30°C, entonces estas se apagarán

Fin de tarea

22. Prender ventiladores de dosificación

- Si las resistencias de deshielo están apagadas, entonces el PLC prenderá los ventiladores de dosificación

Fin de tarea

23. Ajustar set point de temperatura

- Se ajusta el valor de temperatura, al cual debe enfriarse el interior del congelador

Fin de tarea

24. Prender el compresor

- Si el set point se encuentra entre valores de -21°C a 15°C y la temperatura actual del interior del congelador es mayor que el punto de referencia, entonces el PLC prenderá el compresor

Fin de tarea

25. Apagar el compresor

- Si el set point se encuentra entre valores de -21°C a 15°C y la temperatura actual del interior del congelador es menor que el punto de referencia, entonces el PLC apagará el compresor

Fin de tarea

26. Mostrar valores de las variables

El panel de operador mostrará en la pantalla, los valores de:

- Temperatura del congelador
- Temperatura del refrigerador
- Temperatura de la resistencia de deshielo del refrigerador
- Temperatura de la resistencia de deshielo del congelador
- Humedad relativa del refrigerador
- Humedad relativa del congelador

Fin de tarea

27. Activar registro de datos

Si el usuario ha elegido activar el registro de datos, se almacenarán datos de:

- Temperatura del refrigerador
- Temperatura del congelador
- Humedad relativa del refrigerador
- Humedad relativa del congelador

Fin de tarea

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para la verificación y cumplimiento de los objetivos planteados, se han realizado pruebas para la adquisición de datos y funcionamiento de las salidas.

Las pruebas realizadas buscan determinar las características del sistema, como estabilidad, precisión y repetitividad.

Mediante gráficos en Microsoft Excel, se analizará los datos de: temperatura y humedad.

4.1 PRUEBAS PARA LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

El Módulo Didáctico de Refrigeración cuenta con dos transductores de temperatura, uno en el compartimento del refrigerador y otro en el compartimento del congelador, como se muestra en la figura 4.1. Para comprobar la operación de ambos sensores se procedió a obtener su curva de respuesta.

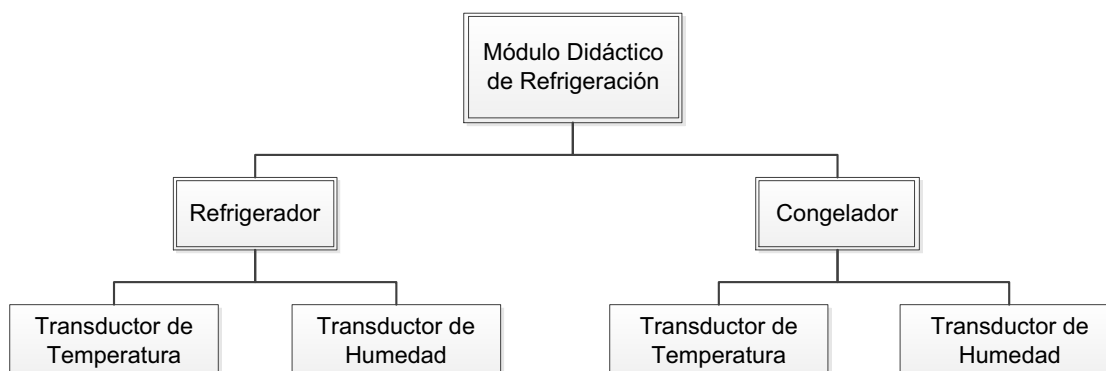


Figura 4.1 Transductores en el Módulo Didáctico de Refrigeración

El Módulo también cuenta con dos transductores de humedad, uno en el compartimento del refrigerador y otro en el compartimento del congelador, como se muestra en la Figura 4.1

Se ha realizado una prueba en el compartimento del congelador donde, el eje vertical de la izquierda representa la temperatura y el eje vertical de la derecha representa la humedad relativa. La temperatura inicial fue de 23°C y la temperatura final fue de -16°C. El tiempo necesario para lograr este cambio de temperatura fue de dos horas como se muestra en la siguiente figura:

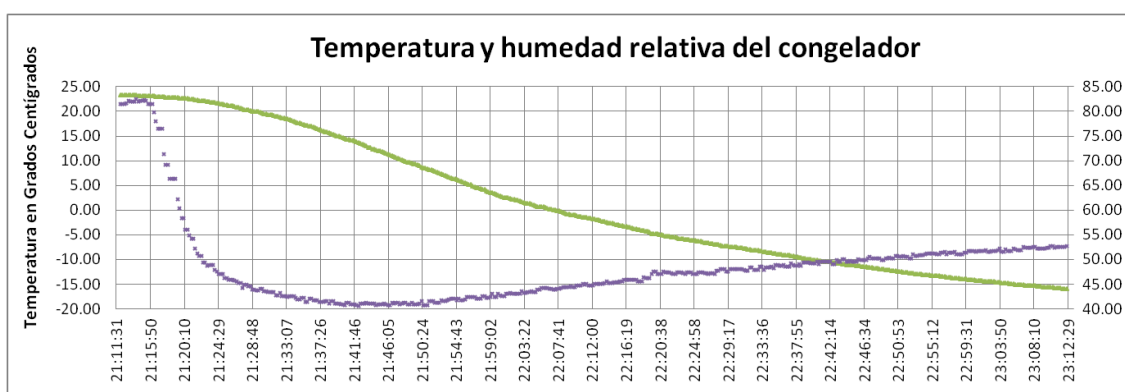


Figura 4.2 Temperatura y Humedad en el compartimento del congelador

Donde:

- **Temperatura del congelador**
- **Humedad relativa del congelador**

La rapidez de enfriamiento está dada por la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{\Delta T}{t}$$

$$V_c = \frac{-16.04^{\circ}\text{C} - 23.35^{\circ}\text{C}}{2h}$$

$$V_c = -19.7\text{ }^{\circ}\text{C}/h$$

Lo que significa que en el compartimento del congelador, la temperatura desciende 19.7°C cada hora.

Se ha realizado una prueba similar en el compartimento del refrigerador, la temperatura inicial fue de 18°C y la temperatura final fue de -3.5°C , la humedad relativa inicial fue de 74.4% y la humedad relativa final fue de 46.67%, el periodo tiempo fue de dos horas, como se muestra en la siguiente figura:

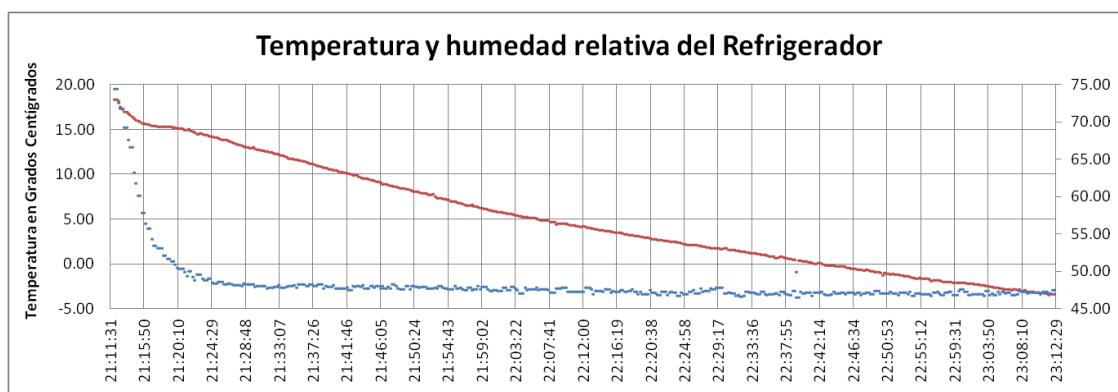


Figura 4.3 Temperatura y Humedad en el compartimento del refrigerador

Donde:

- **Temperatura del congelador**
- **Humedad relativa del congelador**

La humedad relativa desciende cuando la temperatura desciende también. En el compartimento del refrigerador la humedad relativa se mantiene constante en un valor de aproximadamente 46% desde las 21:24 hasta las 23:12, esto se debe a que en este periodo de tiempo la variación de temperatura en el refrigerador (ΔT_R) es cero.

La rapidez de enfriamiento está dada por la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{\Delta T}{t}$$

$$V_R = \frac{-3.5^{\circ}\text{C} - 18.32^{\circ}\text{C}}{2h}$$

$$V_R = -10.9^{\circ}\text{C}/h$$

Lo que significa que la temperatura desciende 11°C cada hora, en el compartimento del refrigerador.

Si la rapidez de enfriamiento del congelador V_C , se compara con la rapidez de enfriamiento del refrigerador V_R , se llega a la siguiente conclusión:

$$\text{Relación} = \frac{V_C}{V_R}$$

$$\text{Relación} = \frac{-19.7^{\circ}\text{C}}{-10.9^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Relación} = 1.8$$

La relación es casi el doble, esto se explica, ya que el volumen del compartimento del refrigerador, es casi el doble del volumen del compartimento del congelador, como se muestra en la siguiente figura:

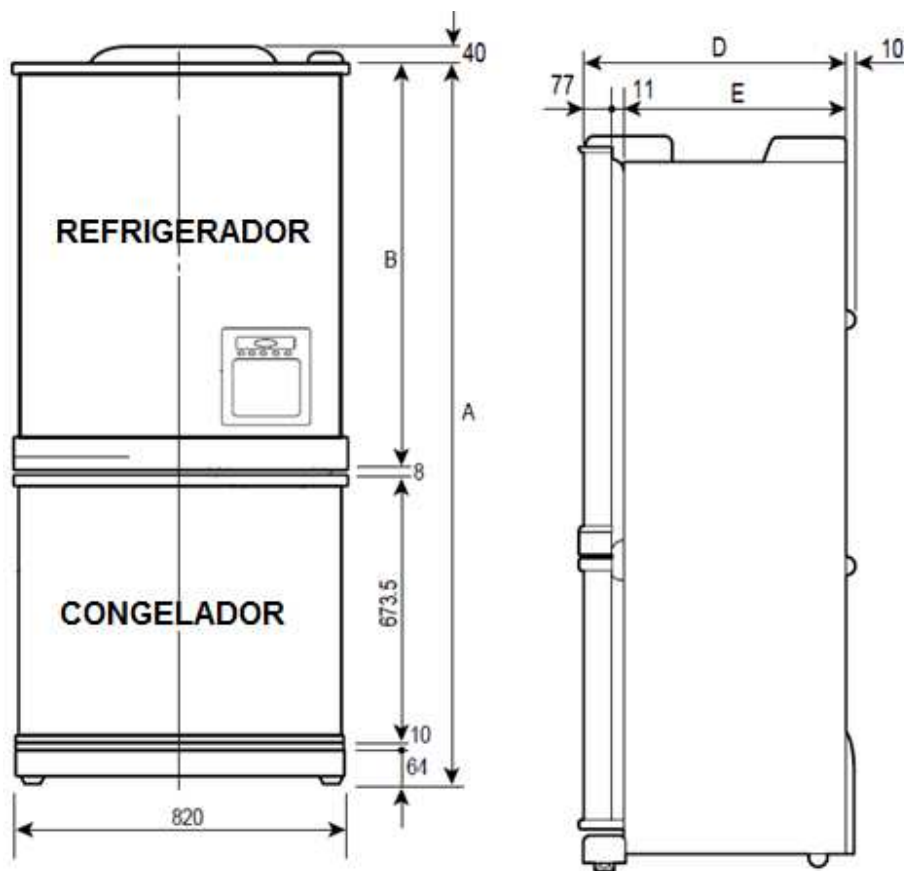


Figura 4.4 Vista frontal y lateral del Módulo de Refrigeración

	A	B	D	E
Longitud [mm]	1750	994.5	715	627

Tabla 4.1 Dimensiones físicas del Módulo de Refrigeración

El volumen del compartimento del congelador está dado por:

$$V_C = 820 \times 673.5 \times 627$$

$$V_C = 346.27 \text{ dm}^3$$

El volumen del compartimento del refrigerador esta dado por:

$$V_R = 820 \times 994.5 \times 715$$

$$V_R = 583.07 \text{ dm}^3$$

$$\text{Relación} = \frac{V_R}{V_C}$$

$$Relación = \frac{583.07 \text{ dm}^3}{346.27 \text{ dm}^3}$$

$$Relación = 1.7$$

Si se compara la relación de Volumen con la Relación de Enfriamiento:

Relación de volumen \approx Relación de enfriamiento

4.2 PRUEBA PARA EL SET POINT DE TEMPERATURA

Para el control de temperatura, se ha diseñado un control On Off con histéresis. El set point es ingresado por el usuario por medio del HMI.

La venta de histéresis se forma con un límite superior de $SP + 3^{\circ}\text{C}$ y un límite inferior de $SP - 3^{\circ}\text{C}$. Para comprobar que la temperatura interna oscile entre los valores establecido se ha realizado una prueba en la que, se ha tomado un periodo de tiempo de 2 horas con 46 minutos, tal como se muestra en la siguiente figura:

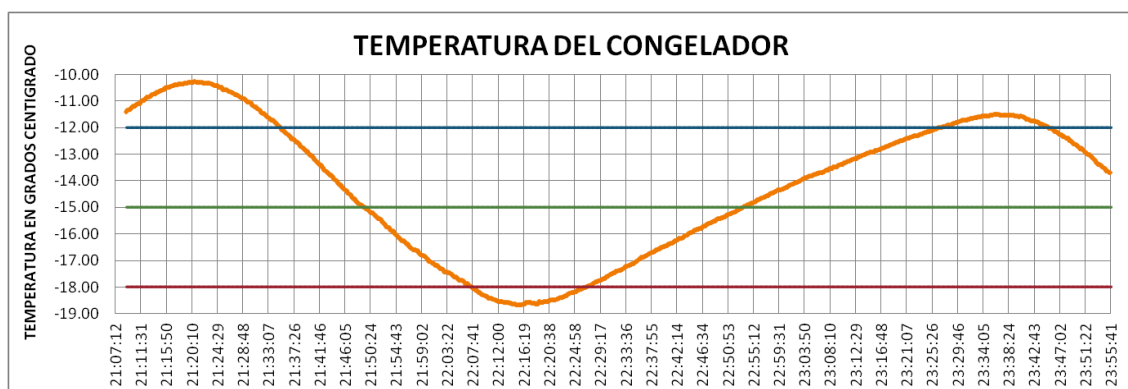


Figura 4.5 Set Point de temperatura

Donde:

- **Temperatura del congelador**
- **Set Point = 15°C**
- **Límite superior = -15°C + 3°C**
- **Límite inferior = -15°C – 3°C**

4.3 RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DEL EVAPORADOR Y LA TEMPERATURA AL INTERIOR DE LOS COMPARTIMENTOS

La variación de temperatura es la diferencia entre, la temperatura en los tubos del evaporador, y la temperatura al interior del compartimento.

La variación de temperatura (ΔT), en el compartimento del congelador se muestra en la siguiente figura:

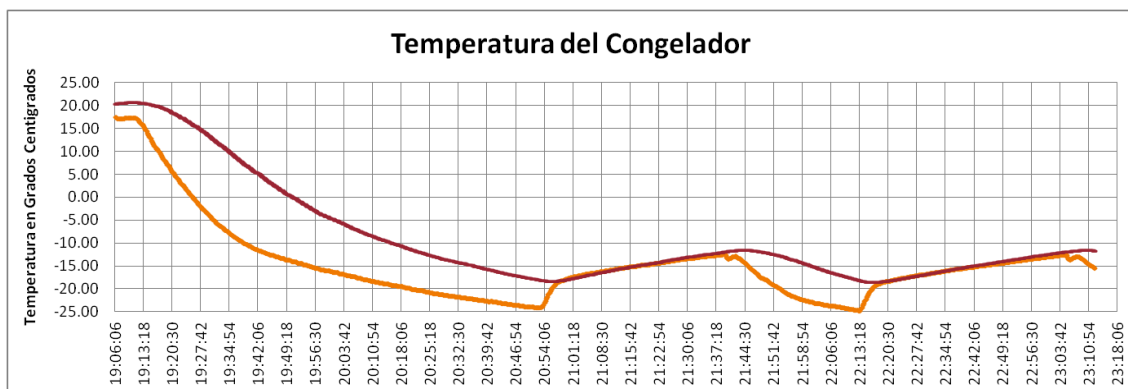


Figura 4.6 Variación de temperatura en el compartimento del congelador

Donde:

- **Temperatura del congelador**
- **Temperatura en los tubos del evaporador**

En la figura anterior se observa que a las 22:13 por ejemplo, para alcanzar una temperatura de -18.21°C al interior del compartimento del congelador, es necesario que la temperatura en los tubos del evaporador sea de -24.83°C

$$\Delta T_{\text{Congelador}} = -18.21^{\circ}\text{C} - (-24.83^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T_{\text{Congelador}} = 6.61^{\circ}\text{C}$$

Se ha realizado una prueba similar en el compartimento del refrigerador, como se muestra en la siguiente figura:

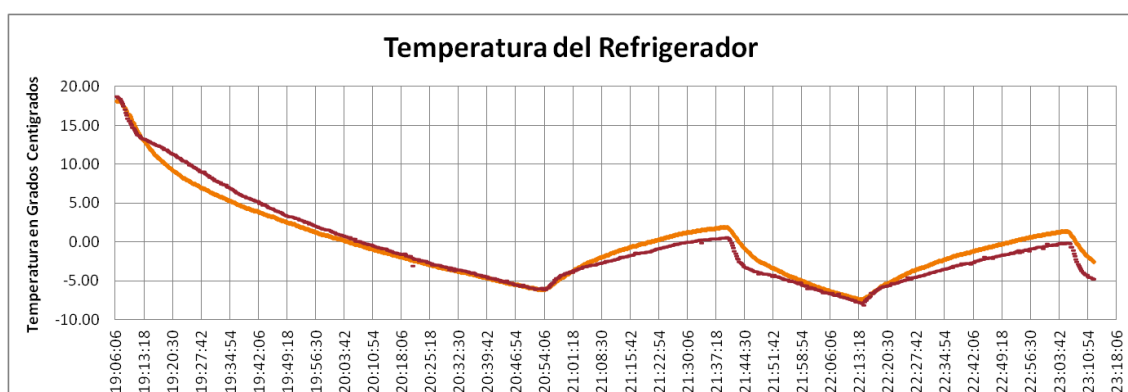


Figura 4.7 Variación de temperatura en el compartimento del refrigerador

Donde:

- Temperatura del refrigerador
- Temperatura en los tubos del evaporador

Si se compara la ΔT_C en el congelador (Figura 4.6) con la ΔT_R en el refrigerador (Figura 4.7), se observa que la ΔT_R es más constante que la ΔT_C .

4.4 PRUEBA PARA LAS RESISTENCIAS DE DESHIELO

La formación de escarcha disminuye la capacidad de enfriamiento del equipo, y hace que el compresor trabaje más tiempo, ya que ésta forma una capa de hielo alrededor de los tubos del evaporador, disminuyendo la transmisión del aire frío.

El Módulo de Refrigeración cuenta con resistencias de descongelación, que pueden diluir la escarcha en un tiempo de 17 min, desde una temperatura de -25°C hasta alcanzar una temperatura de 8.48°C en los tubos de evaporador, pero manteniendo el frío al interior de las cámaras frigoríficas, esto se logra apagando los ventiladores de dosificación en el periodo de deshielo, ya que son los ventiladores, los encargados de llevar el aire frío o caliente al interior de los compartimentos.

Se ha realizado una prueba en el compartimento del congelador para comprobar, que los tubos del evaporador alcancen una temperatura de 8.48°C , pero que la temperatura al interior de la cámara se mantenga, lo más constante posible, como se muestra en la siguiente figura:

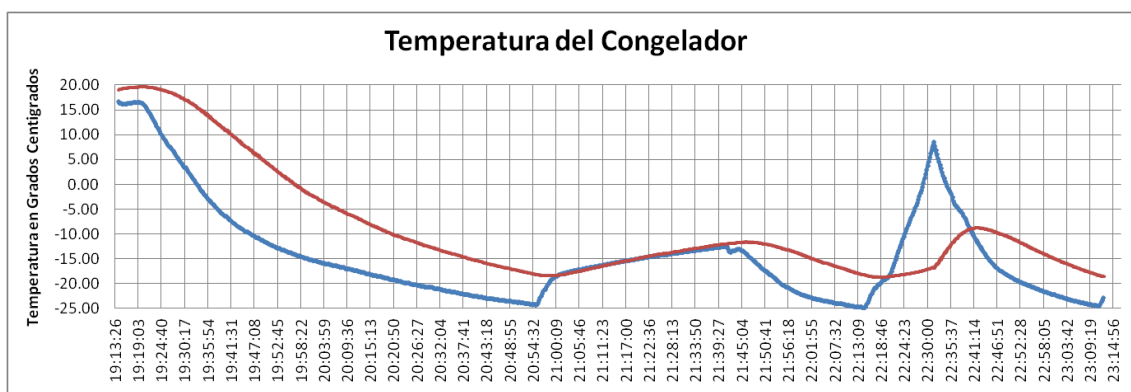


Figura 4.8 Prueba para las resistencias de deshielo en el congelador

Donde:

- **Temperatura al interior del congelador**
- **Temperatura en los tubos del evaporador del congelador**

La rapidez de calentamiento en los tubos del evaporador del congelador está dada por la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{8.48 - (-24.86)}{0.23}$$

$$V_C = 142.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/h$$

Se ha realizado una prueba similar en el compartimento del refrigerador, la temperatura inicial para el periodo de deshielo fue de -7.76°C y alcanzó una temperatura de 18.78°C , en 14 min, tal como se muestra en la siguiente figura:

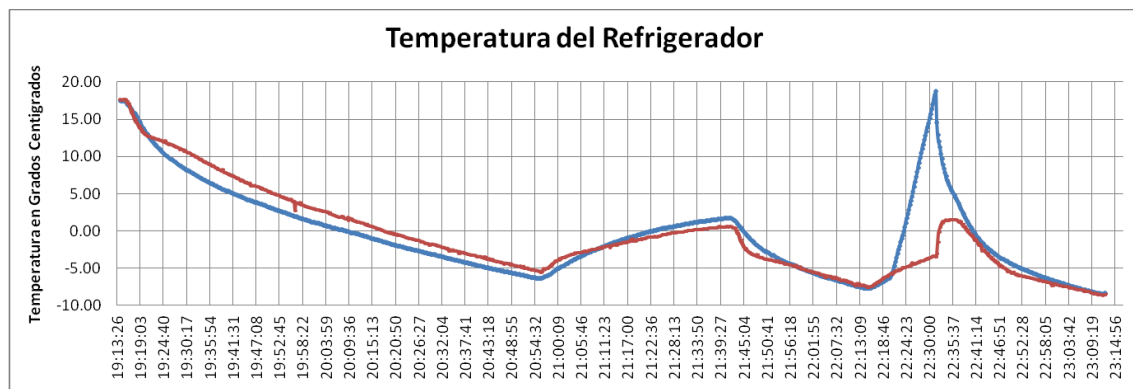


Figura 4.9 Prueba para las resistencias de deshielo en el refrigerador

Donde:

- **Temperatura del al interior del refrigerador**
- **Temperatura en los tubos del evaporador del refrigerador**

La rapidez de calentamiento en los tubos del evaporador del refrigerador está dada por la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{18.78 - (-7.76)}{0.23}$$

$$V_R = 115.4 \text{ }^{\circ}\text{C}/h$$

Como se puede observar, la rapidez de calentamiento de las resistencias en el congelador es 31.67% más rápido que la rapidez de las resistencias del refrigerador

4.5 PRUEBA PARA LOS SENSORES DE APERTURA Y CIERRE DE PUERTAS

El Módulo de Refrigeración cuenta con sensores de cierre y apertura de puertas, los mismos que sirven para dar la orden de prender y apagar las lámparas del congelador y del refrigerador respectivamente, como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 4.10 Lámpara del compartimento del congelador

En el compartimento del refrigerador, el sensor de apertura y cierre de puerta, además de controlar el encendido y apagado de la lámpara, controla también el encendido y apagado del swing motor, el cual sirve para la renovación de aire cada vez que el usuario abra la puerta, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.11 Lámpara del compartimento del refrigerador

4.6 COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE REFRIGERACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EXISTENTES

Para poder establecer las similitudes y diferencias del Módulo de Refrigeración con otros sistemas de refrigeración doméstica existentes en el mercado, se ha creado la Tabla , en la cual se recopilan las diez características más importantes, a partir de las cuales se puede determinar que sistema de refrigeración presenta mejores características.

	Módulo de Refrigeración	Refrigerador LG GN-V232R	Refrigerador Electrolux ERT164EG	Refrigerador General Electric PLM27LHW
Sistema de Deshielo	x	x	x	x
Evaporador Independiente	x			
Sistema de				

Dosificación de aire	x	x	x	x
Sistema de Renovación de aire	x			
Medidor de Temperatura	x		x	x
Medidor de Humedad	x			x
Rendimiento del Congelador	-21°C	-18°C	-21°C	-24°C
Control Digital	x		x	X
Control de Arranque del compresor	x		x	x
Capacidad	27 pies cúbicos	16 pies cúbicos	21 pies cúbicos	27 pies cúbicos

Tabla 4.2 Comparación del Módulo de Refrigeración con otros sistemas existentes

A partir de la de información mostrada en la Tabla 4.2, se concluye que el Módulo de Refrigeración compite en versatilidad con uno de los mejores refrigeradores domésticos como es el General Electric PLM27LHW. El MDR presenta características únicas como son: el Sistema de Renovación de Aire y la función de poder operar al Módulo en forma manual.

La principal función que distingue al Módulo de otros Sistemas de Refrigeración, es la de poder guardar datos de Temperatura y Humedad para ser volcados sobre una hoja de cálculo y estudiar su comportamiento a través del tiempo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las pruebas realizadas al Módulo de Refrigeración, se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

- Para una conservación de mayor duración, la congelación es el método más eficiente, la temperatura que se recomienda es -18°C , ya que a esta temperatura se inhibe la actividad de los microorganismos y se reduce la velocidad de las reacciones, lo cual junto a la reducción de la actividad de agua debido a su conservación en hielo, consigue mantener la calidad y el valor nutritivo de los alimentos
- Las pruebas realizadas permitieron observar que para la conservación de los alimentos, se debe conseguir que tanto la humedad relativa como la temperatura se mantengan lo más constante posible. Como la variación de temperatura y la humedad relativa van unidas, manteniendo constante la primera, se mantendrá constante la segunda
- Para conseguir la condensación del refrigerante, utilizando como medio de refrigeración el aire, se deberá incrementar la presión del refrigerante, por eso vital la selección para conseguir el aumento de presión
- Para que el refrigerante absorba calor del medio, es necesario que el refrigerante cambie su estado de líquido a gas este cambio se logra intercalando un tubo capilar entre el condensador y el evaporador

- El tubo capilar permite igualar las presiones entre el lado de alta y el de baja del sistema cuando el compresor se detiene. Al detenerse el compresor, comienza a circular a través del tubo capilar una cierta cantidad adicional de líquido refrigerante hasta lograr el equilibrio de presiones entre el de alta y el lado de baja. Esto constituye una ventaja. Por cuanto al reducir la presión que existe en el lado de alta, el compresor arrancara con una carga mucho menor, lo que representa un menor consumo de energía por parte del compresor.
- Las pruebas demostraron que el gas R134a es eficiente ya que para evaporarse necesita absorber una gran cantidad de calor del medio que lo rodea y para condensarse necesita entregar una pequeña cantidad de calor al medio que lo rodea
- El sistema de control del Samsung SR-L628EV fue cambiado en su totalidad, con la finalidad de convertir al refrigerador comercial, en un Módulo didáctico de Refrigeración
- El Módulo de Refrigeración alcanza una temperatura de -25°C en los tubos del evaporador del congelador, y una temperatura de -18°C al interior de la misma cámara, en un lapso de 2 horas desde una temperatura inicial de 22°C , estos valores son los que usualmente se emplean en aplicaciones comerciales
- El Módulo de Refrigeración alcanza una temperatura de -7°C en los tubos del evaporador del congelador, y una temperatura igual al interior de la misma cámara, en un lapso de 2 horas desde una temperatura inicial de 18°C
- La rapidez de enfriamiento del congelador es casi el doble en comparación con la rapidez de enfriamiento del refrigerador, esto se debe a que el volumen del compartimento del refrigerador es casi el doble del volumen del compartimento del refrigerador

- El sistema de control para la temperatura se basa en un controlador ON – OFF con lazo de histéresis, con un error de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, alrededor del Set Point de temperatura, este error es considerado aceptable en aplicaciones industriales
- La escarcha en los tubos del evaporador reduce la eficiencia del Sistema de refrigeración, por lo cual todos días a las 10:00, el control está programado para que encienda las resistencias de deshielo y el hielo se funda a una temperatura de 5°C
- El control permite funcionar al Módulo de Refrigeración en dos modos, un modo automático en el cual todos los elementos del sistema funcionan de manera autónoma y un modo manual en el cual el usuario tiene la posibilidad de controlar cada elemento del sistema por separado e indistintamente de restricciones
- Los ventiladores de dosificación son los encargados de conseguir una distribución homogénea del aire frío, al interior de los compartimentos, por lo tanto siempre estarán funcionando, excepto en los periodos de deshielo cuando estén prendidas las resistencias
- La renovación de aire se produce de forma natural cuando se abren las puertas, pero también es necesario la utilización de un swing motor (air mixing) que introduzca en el compartimento del refrigerador, aire tomado del exterior, y expulse un volumen igual.
- Todos los gabinetes requieren que se prevenga la formación de condensación de humedad alrededor de las puertas, provocada por el contacto de la humedad ambiente con el aire frío que surge del gabinete al abrirse estas. El Módulo de Refrigeración emplea una parte del circuito del condensador, enrutado alrededor de los marcos de las puertas, aprovechando la temperatura del refrigerante en el condensador.

- La tecnología utilizada es 100% Siemens, con un PLC S7-200, un Panel de Operador OP73micro, un módulo de ampliación de 4 entradas análogas EM235, y el software de programación. Las pruebas demostraron que la selección de esta tecnología fue acertada
- Para la comunicación entre el PLC y el Panel de Operador se utiliza el Estándar PROFIBUS, y la construcción del cable de comunicación cumple con la norma IEC 61158/EN 50 170. De los resultados de las pruebas se puede deducir que el empleo de este estándar es fiable
- Para establecer la comunicación entre el PLC, el Panel de Operador, el computador, los 3 elementos deben comunicarse a las misma velocidad $9.6^{\text{kbits}}/\text{seg}$ y deben tener direcciones únicas.
- El gas refrigerante R134a, gas con el cual se ha cargado a la instalación frigorífica, es un HFC. Como todos los refrigerantes HFC, no daña la capa de ozono, tiene una gran estabilidad térmica, una baja toxicidad y no es inflamable

De la experiencia adquirida durante la realización de este proyecto, se pueden extraer las siguientes recomendaciones

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda dar mantenimiento preventivo al Módulo de Refrigeración cada 6 meses, para limpiar los tubos del evaporador ya que la suciedad al igual que la escarcha, disminuyen la eficiencia del sistema
- Se recomienda, que siempre que se prenda el equipo, se digite la fecha y la hora respectiva, de manera que el Módulo de Refrigeración pueda operar al 100% de su funcionalidad

- Se recomienda limpiar siempre la bandeja de desagüe que se encuentra en el compartimento mecánico, ya que el agua acumulada oxidará los tubos del condensador
- Se recomienda no rociar agua para lavar al Módulo de Refrigeración, ni colocar ningún recipiente con agua encima, ya que si el agua se derrama y entra en contacto con los componentes eléctricos, podría producirse un incendio o una descarga eléctrica
- Se recomienda no guardar sustancias volátiles o inflamables en el interior de Módulo, ya que si se guarda bencina, diluyentes, alcohol, éter, o cualquier sustancia similar, podría provocar una explosión
- Se recomienda evitar que cualquier tipo de aceite o grasa se ponga en contacto con los accesorios plásticos o los sellos de las puertas, ya que estos se vuelven porosos fácilmente
- Se recomienda no guardar en el congelador botellas de vidrio que estén llenas de algún líquido que pueda congelarse, ya que el líquido podría expandirse tras haberse congelado, haciendo que el cristal estalle
- Se recomienda que siempre que se necesite reemplazar las lámparas del Módulo, se desconecte de la alimentación de voltaje
- Se recomienda que para ahorrar energía, el Módulo sea instalado en un lugar donde no esté expuesto a la luz del sol y no esté cerca de una fuente de calor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WILBERT F. STOECKER, Industrial Refrigeration Handbook, Editorial Mc Graw Hill, Second Edition.
2. G. F. HUNDY, Refrigeration and Air Conditioning, Editorial Mc Graw Hill, Fourth Edition
3. ROY DOSSAT, Principios de Refrigeración, Editorial CECSA, Primera Edición
4. FRANCESC BUQUÉ, Manual Práctico de Refrigeración y Aire Acondicionado, Alfaomega, Tomo I
5. WILLIAM C. WHITMAN, Tecnología de Refrigeración y Aire Acondicionado, Paraninfo, Tomo I
6. A. CASP y J. ABRIL, Procesos de conservación de alimentos, Editorial Mc Graw Hill, 2da. Edición
7. JOSÉ HERNANDEZ VALADEZ, Manual de Refrigeración Doméstica, Editorial Trillas, 3ra. Edición
8. ANDREW ALTHOUSE & CARL TURNQUISTI. Modern Refrigeration and Conditioning. Sexta Edición. The Goodheart-Willcox Company,
9. FONDO DE RECONVERSIÓN INDUSTRIAL, Manual de buenas prácticas en refrigeración
10. FREDY GUILLERMO ERASO, Refrigeración Doméstica
11. VALYCONTROL, Manual Técnico de Refrigeración

12. DANFOSS, Automatización de Instalaciones de Refrigeración Comercial
13. EMBRACO, Manual de Instalación de compresores Embraco
14. SAMSUNG, Service Manual SR-L628EV
15. SIEMENS, Manual del sistema de automatización S7-200
16. SIEMENS, Panel de Operador OP73micro
17. SIEMENS, WinnCC Flexible 2008 Micro
18. SIEMENS, PROFIBUS Network Manual
19. Hoja técnica sensor de temperatura LM35
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.pdf>
20. Hoja técnica sensor de humedad HS1101
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/humirel/HS1100.pdf>
21. Hoja técnica amplificador operacional LM741
<https://www.national.com/ds/LM/LM741.pdf>
22. Hoja técnica del integrado NE555
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2182.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Degradación Medio Ambiental debido a los Refrigerantes

Anexo 2. Clasificación de los refrigerantes

Anexo 3. Efectos Fisiológicos de los refrigerantes

Anexo 4. Condiciones de almacenamiento refrigerado de algunos alimentos

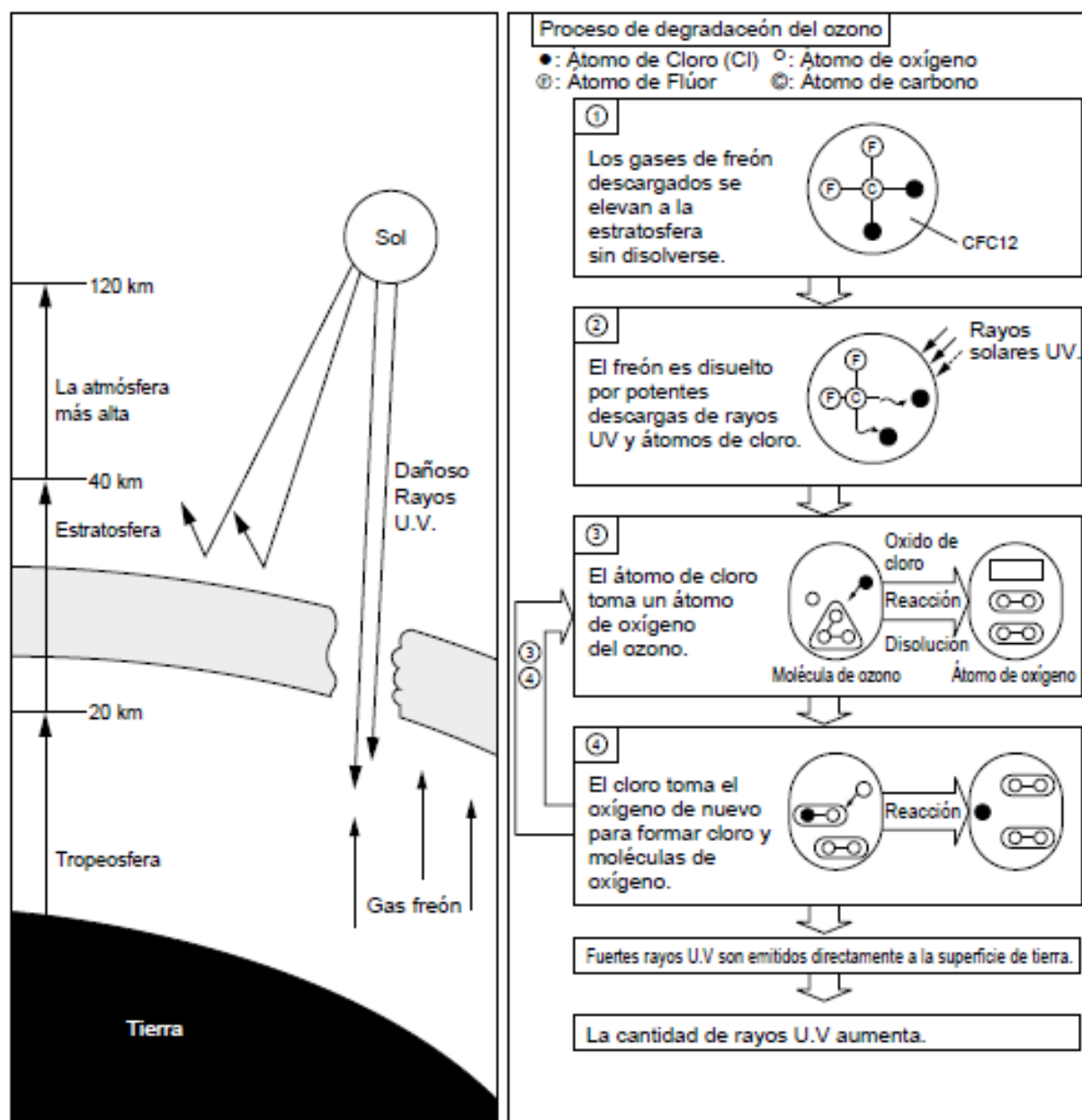
Anexo 5. Principales características del Módulo de Refrigeración

Anexo 6. Diagrama eléctrico de conexiones

Anexo 7. Propuesta de una Práctica de Laboratorio

Anexo 8. Glosario de términos

ANEXO 1. Degradación Medio Ambiental debido a los Refrigerantes



ANEXO 2. Clasificación de los refrigerantes

CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES				
Nº de identificación del refrigerante	Nombre químico	Fórmula química	Peso molecular en gramos	Punto de ebullición en °C a 1,013bar
Grupo primero: Refrigerantes de alta seguridad				
R – 11	Triclorofluorometano	CCl ₂ F	137,4	23,8
R – 12	Diclorodifluorometano	CClF ₂	120,9	-29,8
R – 12	Clorotrifluorometano	CClF ₃	104,5	-81,5
R – 13B1	Bromotrifluorometano	CBrF ₃	148,9	-58
R – 14	Tetrafloruro de carbono	CF ₄	88	-128
R – 21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F	102,9	8,92
R – 22	Clorodifluorometano	CHClF ₂	86,5	-40,8
R – 113	1, 1, 2-Diclorotetrafluoretano	CCl ₂ CF ₂ CF ₂	187,4	47,7
R – 114	1, 2- Diclorotetrafluoretano	CClF ₂ CClF ₂	170,9	3,5
R – 115	Cloropentafluoretano	CClF ₂ CF ₂	154,5	-38,7
R – C318	Octofluorociclobutano	C ₄ F ₈	200	-5,9
R – 500	R – 12 (73,8%) R – 152a (26,2%)	CCl ₂ F ₂ CH ₃ CHF ₂	99,29	-28
R – 502	R – 22 (48,8%) R – 115 (51,2%)	CHClF ₂ CClF ₂ CF ₃	112	-45,6
R – 744	Anhidrido carbonico	CO ₂	44	-78,5
R – 23	Trifluorometano	CHF ₃	70,01	-82,15
R – 123	2, 2 –dicloro- 1,1,1- trifluoretano	CHCl ₂ -CF ₃	153	27,96
R – 124	2 Cloro-1, 1, 1, 2-tetrafluoretano	CHClF-CF ₃	136,5	-12,05
R – 125	Pentafluoretano	CHF ₂ -CF ₃	120,02	-48,41
R – 134A	1, 1, 1, 2-Tetrafluoretano	CH ₂ F-CF ₃	102	-26,14
R – 401A (53/13/34)	Clorodifluorometano (R-22)	CHClF ₂ (53%)	94,44	-33,08
	1,1-Difluoretano (R-152a)	CH ₃ -CHF ₂ (13%)		
	2 Cloro-1, 1, 1, 2-tetrafluoretano (R – 124)	CHClF-CF ₃ (34%)		
R – 401B (61/11/28)	Clorodifluorometano (R – 22)	CHClF ₂ (61%)	92,84	-34,67
	1, 1-Difluoretano (R – 152a)	CH ₃ -CHF ₂ (11%)		
	2 Cloro-1, 1, 1,2-tetrafluoretano (R – 124)	CHClF-CF ₃ (28%)		
R – 140C (33/15/52)	Clorodifluorometano (R – 22)	CHClF ₂ (33%)	101,4	-28,43
	1, 1-Dofluoretano (R – 152a)	CH ₃ -CHF ₂ (15%)		
	2 Cloro-1, 1, 1,2-tetrafluoretano (R – 124)	CHClF-CF ₃ (52%)		
R – 402A (60/2/38)	Pentafluoretano (R – 125)	CHF-CF ₃ (60%)	101,55	-49,19
	Propano (R – 290)	C ₃ H ₈ (2%)		
	Clorodifluorometano (R – 22)	CHClF ₂ (38%)		

R – 402B (38/2/60)	Pentafluoretano (R – 125)	CHF2-CF3 (38%)	94,71	-47,36
	Propano (R – 290)	C3H8 (2%)		
	Clorodifluormetano (R – 22)	CHClF2 (60%)		
R – 404A (44/4/52)	Pentafluoretano (R – 125)	CHF2-CF3 (44%)	97,6	-46,69
	1, 1, 1,2-tetrafluoretano (R – 134a)	CH2F-CF3 (4%)		
	1, 1, 1-Trifluoroetano (R – 143a)	H3-CF3 (52%)		
R – 407C (23/25/52)	Difluormetano (R – 32)	CH2F2 (23%)	86,2	-43,44
	Pentafluormetano (R – 125)	CHF2-CF3 (25%)		
	1, 1, 1,2-tetrafluoretano (R-134a)	CH2F-CF3(52%)		
Grupo segundo: Refrigerantes de media seguridad				
R – 30	Cloruro de metileno	CH2Cl2	84,9	40,1
R – 40	Cloruro de metilo	CH2Cl	50,5	-24
R – 160	Cloruro de etilo	CH3CH2Cl	64,5	12,5
R – 661	Formiato de metilo	HCOOCH2	60	31,2
R – 717	Amoníaco	NH3	17	-33
R – 764	Anhídrido sulfuroso	SO2	64	-10
R – 1130	1,2- Dicloroetileno	CHCl = CHCl	96,9	48,5
Grupo tercero: Refrigerantes de baja seguridad				
R – 170	Etano	CH3CH3	30	-88,6
R – 290	Propano	CH3CH2CH3	44	-42,8
R – 600	Butano	CH3CH2CH2CH3	58,1	0,5
R – 600A	Isobutano	CH (CH3)3	58,1	-10,2
R – 1150	Etileno	CH2 = CH2	28	-103,7

ANEXO 3. Efectos fisiológicos de los refrigerantes

EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS REFRIGERANTES							
Número de identificación del refrigerante	Nombre químico	Fórmula química	Porcentaje en volumen de concentración en aire			Características	Advertencias
			*	**	***		
Grupo primero: Refrigerantes de alta seguridad							
R – 11	Triclorofluorometano	CCl ₂ F	-	-	10	A	(1)
R – 12	Diclorodifluorometano	CClF ₂	-	-	20 a 30	b	(1)
R – 13	Clorotrifluorometano	CClF ₃	-	-	20 a 30	b	(1)
R – 13B1	Bromotrifluorometano	CBrF ₃	-	-	20 a 30	b	(1)
R – 14	Tetrafluoruro de carbono	CF ₄	-	-	-	-	(1)
R – 21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F	-	10	5	a	(1)
R – 22	Clorodifluorometano	CHClF ₂	-	-	20	b	(1)
R – 133	1,1,2-Triclorotrifluoroetano	CCl ₂ FCClF ₂	-	5 a 10	2,5	a	(1)
R – 114	1,2-Diclorotetrafluoroetano	CClF ₂ CClF ₂	-	-	20 a 30	b	(1)
R -115	Cloropentafluoroetano	CClF ₂ CF ₂	-	-	20 a 30	b	(1)
R – C318	Octofluorociclobutano	C ₄ F ₈	-	-	20 a 30	b	(1)
R – 500	R – 12 (73,8%) R – 152a (26,2%)	CCl ₂ F ₂ CH ₃ CHF ₂	-	-	20	b	(1)
R – 502	R – 22 (48,8%) R – 115(51,2%)	CHClF ₂ CClF ₂ CF ₃	-	-	20	b	(1)
R – 744	Anhídrido carbónico	CO ₂	8	5 a 6	2 a 4	c	(1)
R – 23	Trifluorometano	CHF ₃	>60*	>23	5	a,b	
R – 123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	CHCl ₂ -CF ₃	2*	0,5	0,1	a,b	
R – 124	2 cloro-1,1,1,2-	CHClF-CF ₃	2,5*	10,4	5	a,b	

	tetrafluoretano						
R – 125	Pentafluoretano	CHF2-CF3	10*	10	5	a,b	
R – 134A	1, 1, 1,2-Tetrafluoretano	CH2F-CF3	7,5*	20	5	a,b	
R – 401A (53/13/34)	Clorodifluormetano (R-22)	CHCIF2 (53%)	5*	10	5	a,b	
	1,1-Difluoretano (R-152a)	CH3-CHF2 (13%)					
	2 Cloro-1,1,1,2-tetrafluoretano (R-124)	CHCIF-CF3 (34%)					
R – 401B (61/11/28)	Clorodifluormetano (R-22)	CHCIF2 (61%)	5*	10	5	a,b	
	1,1-Difluoretano (R-152a)	CH3-CHF2 (11%)					
	2 Cloro-1,1,1,2-tetrafluoretano 1 (R-24)	CHCIF-CF3 (28%)					
R - 401C (33/15/52)	Clorodifluormetano (R-22)	CHCIF2 (33%)	2,5*	10	5	a,b	
	1,1-Difluoretano (R-152a)	CH3-CHF2					
	2 Cloro-1,1,1,2-tetrafluoretano (R-124)	CHCIF-CF3 (52%)					
R – 402A (60/2/38)	Pentafluoretano (R-125)	CHF2-CF3 (60%)	5*	10	5	a,b	
	Propano (R-290)	C3H8 (2%)					
	Clorodifluormetano (R-22)	CHCIF2 (38%)					
R – 402B (38/2/60)	Pentafluoretano (R-125)	CHF2-CF3 (38%)	5*	10	5	a,b	
	Propano (R-290)	C3H8 (2%)					
	Clorodifluometano (R-22)	CHCIF2 (60%)					
R-404A (44/4/52)	Pentafluoretano (R-125)	CHF2-CF3 (44%)	5*	10	5	a,b	
	1,1,1,2-tetrafluoretano (R-134a)	CH2F-CF3 (4%)					
	1,1,1-Trifluoroetano (R-143a)	H3-CF3 (52%)					
R – 407C (23/25/52)	Difluormetano (R-32)	CH2F2 (23%)	5*	10	5	a,b	
	Pentafluormentano (R-125)	CHF2-CF3 (25%)					
	1,1,1,2-tetrafluoretano (R-134a)	CH2F-CF3 (52%)					
Grupo segundo: Refrigerantes de media seguridad							
R – 30	Cloruro de metileno	CH2Cl2	5 a 5,4	2 a 2,4	0,2	a	(2)
R – 40	Cloruro de metilo	CH2Cl	15 a 30	2 a 4	0,05 a 0,1	f	(2)
R – 160	Cloruro de etilo	CH3CH2Cl	15 a 30	6 a 10	2 a 4	f	(2)
R – 717	Amoníaco	NH3	0,5 a	0,2 a	0,01 a 0,03	d, e	(3)

			1	0,3			
R – 764	Anhídrido sulfuroso	SO ₂	0,2 a 1	0,04 a 0,05	0,005 a 0,004	d,e	(3)
R – 1130	1,2-Dicloroetileno	CHCl=CHCl	-	2 a 2,5	-	f	(2)
Grupo tercero: Refrigerantes de baja seguridad							
R – 170	Etano	CH ₃ CH ₃		-	4,7 a 5,5	g	(4)
R – 290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃		6,6	4,7 a 5,5	g	(4)
R – 600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃		-	5 a 5,6	g	(4)
R – 600A	Isobutano	CH(CH ₃) ₃		-	4,7 a 5,5	g	(4)
R – 1150	Etileno	CH ₂ =CH ₂		-	-	g	(4)

Los significados de cada uno de los símbolos usados en el Anexo 2 son los siguientes:

* Lesión mortal o importante en pocos minutos.

** Peligroso de los treinta a los sesenta minutos.

*** Inocuo de una a dos horas.

(1) Pueden producirse gases de descomposición tóxicos en presencia de llamas, su olor intenso proporciona un aviso antes de alcanzarse concentraciones peligrosas.

(2) Gases de descomposición tóxicos e inflamables.

(3) Corrosivo.

(4) Altamente inflamable.

a) A altas concentraciones produce efectos soporíferos.

b) A altas concentraciones provoca una disminución de la cantidad de oxígeno, originando sofoco y peligro de asfixia.

c) No posee olor característico, pero posee un margen muy pequeño entre los efectos no tóxicos y mortales.

d) Olor característico, incluso a concentraciones muy bajas.

e) Irritante, incluso a concentraciones muy bajas.

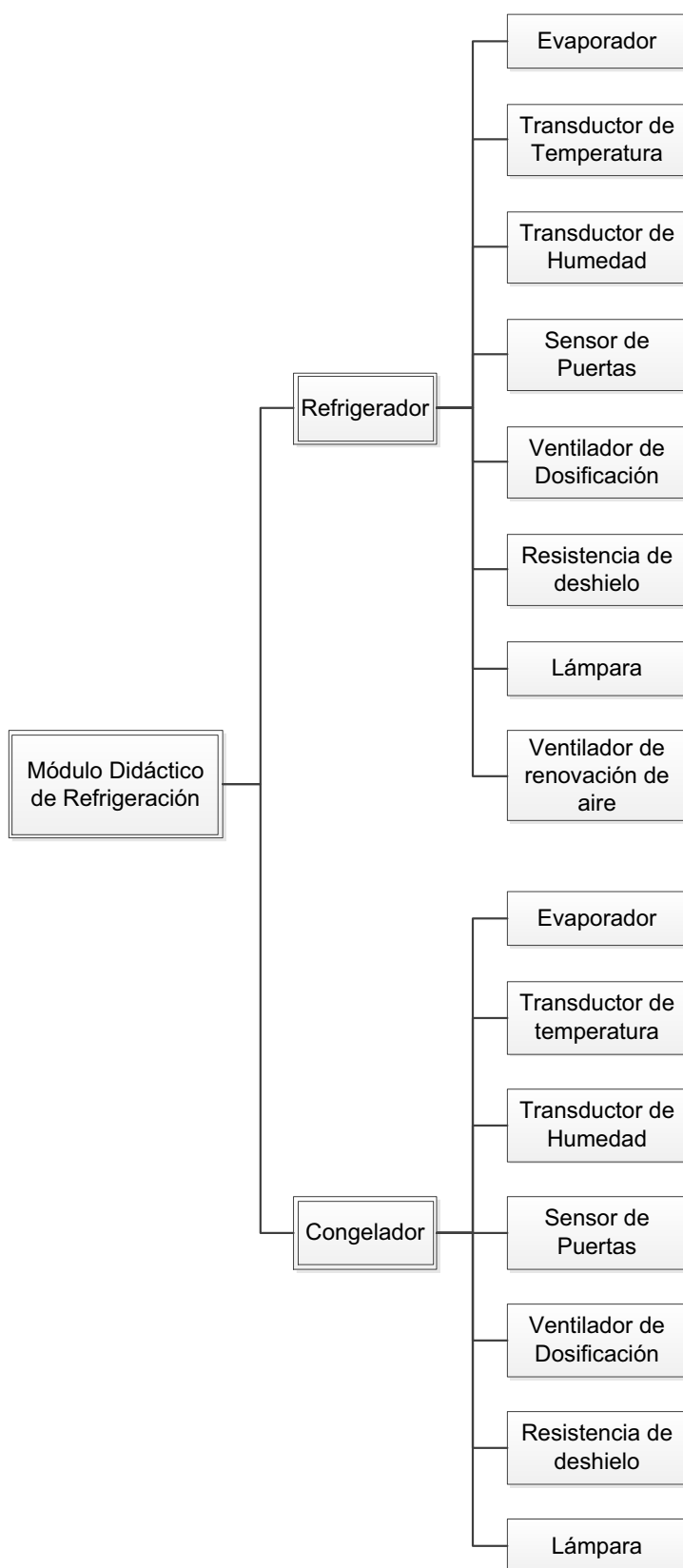
f) Muy soporífero.

g) No produce lesiones mortales o importantes a concentraciones por debajo de los límites inferiores de exposición; de hecho no es tóxico.

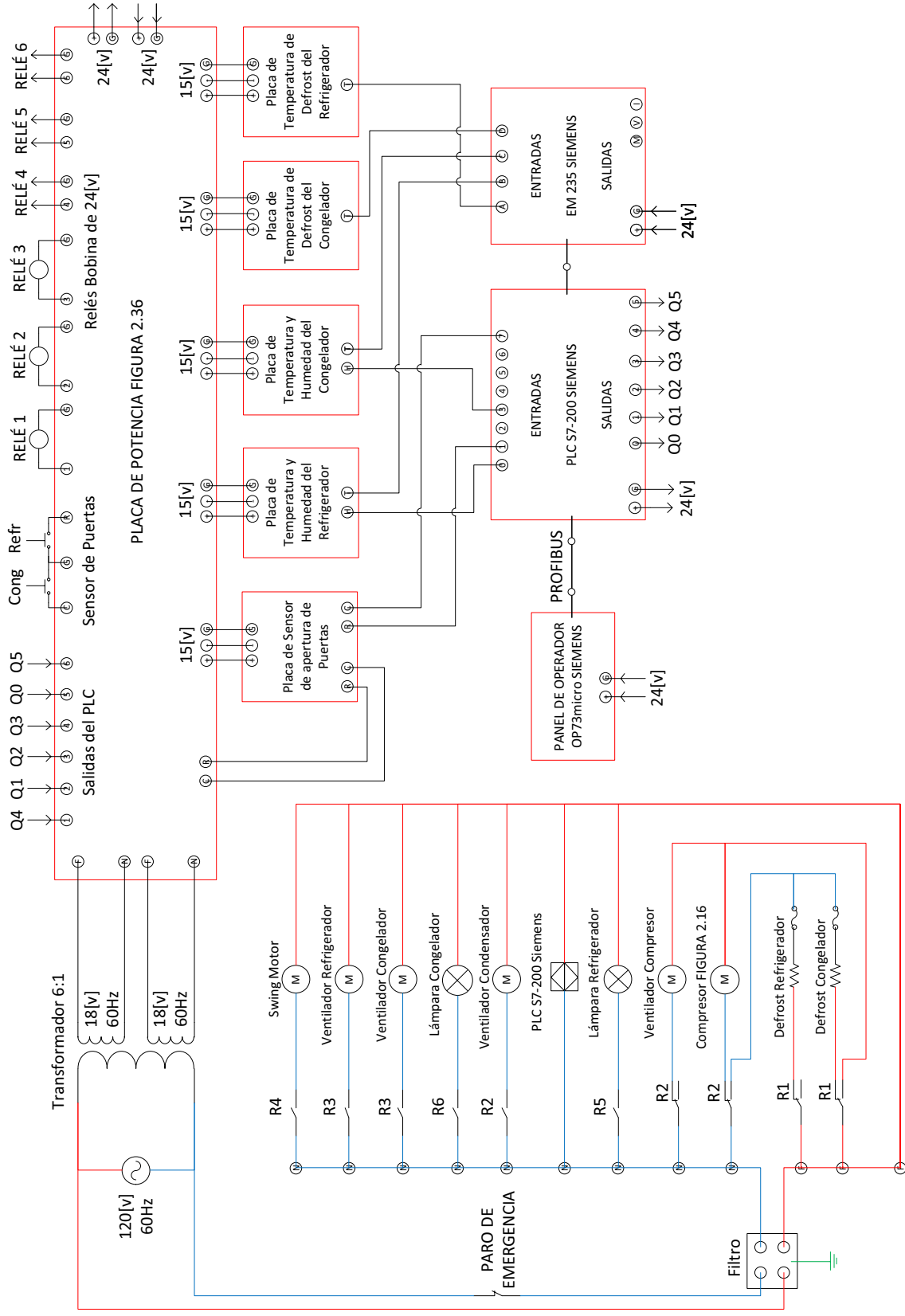
ANEXO 4. Condiciones de almacenamiento refrigerado de algunos alimentos

Producto	Temperatura (°C)	% HR	Duración de almacenamiento
<i>Hortalizas</i>			
Apio	0	98-100	1 a 2 meses
Berenjena	8 a 12	90-95	7 a 10 días
Brócoli	0	95-100	10 a 14 días
Coliflor	0	95	2 a 4 semanas
Col de Bruselas	0	95-100	3 a 5 semanas
Espárrago	0 a 2	95-100	2 a 3 semanas
Espinaca	0	95-98	10 a 14 días
Guisante	0	95	1 a 3 semanas
Judía verde	4 a 7	90-95	7 a 10 días
Lechuga	0 a 1	95-100	2 a 3 semanas
Pepino	10 a 13	95	10 a 14 días
Pimiento	7 a 13	90-95	2 semanas
Tomate maduro	7 a 10	90-95	4 a 7 días
<i>Frutas</i>			
Aguacate	4 a 13	85-90	2 a 4 semanas
Albaricoque	0	90-95	1 a 2 semanas
Ciruela	-1 a 0	90-95	2 a 4 semanas
Fresa	-0.5 a 0	90-95	5 a 7 días
Limón	0 a 10	85-90	1 a 6 meses
Mandarina	4	90-95	2 a 4 semanas
Manzana	-1 a 4	90-95	3 a 8 meses
Melocotón	-0.5 a 0	90-95	2 a 4 semanas
Naranja	5	85-90	3 a 12 semanas
Nectarina	-0.5-0	90	2 a 4 semanas
Pera	-1.6 a -0.5	90-95	2 a 7 meses
Pomelo	10-16	85-90	6 a 10 semanas
Sandía	10-15	90	2 a 3 semanas
<i>Carnes</i>			
Cerdo	0 a 1	85-90	3 a 5 días
Cordero	0 a 1	85-90	5 a 12 días
Pollo	-2 a 0	95-100	1 a 4 semanas
Vacuno	0 a 4	85-90	1 a 3 semanas

ANEXO 5. Principales características del Módulo de Refrigeración



ANEXO 6. Diagrama Eléctrico de Conexiones



ANEXO 7.

MODELO DE PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

PRÁCTICA No

TEMA: Refrigeración Doméstica con Refrigerador Samsung SR-L628EV

OBJETIVOS:

- Estudiar el ciclo de Refrigeración y su principio de operación
- Estudiar el funcionamiento de los componentes mecánicos de los Refrigeradores Domésticos

TEORÍA

La refrigeración se define como el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o materia por debajo de la temperatura del entorno.

Para poder reducir la temperatura, es necesario extraer el calor contenido en el espacio o materia que se desea refrigerar, y para extraer el calor de un cuerpo es necesaria la presencia de otro cuerpo más frío (temperatura inferior) que absorba el calor que se desea eliminar.

El cuerpo que se utiliza para absorber el calor que se desea eliminar se llama refrigerante.

Cada vez que el refrigerante completa un ciclo, sufre dos cambios de estado, se evapora y se condensa, estos dos cambios de estado son necesarios para poder desplazar el calor del espacio que se desea refrigerar hacia el exterior.

Estos cambios de estado no se pueden producir sin que fluya calor del cuerpo más caliente hacia el cuerpo más frío, es decir, del cuerpo a mayor temperatura hacia el cuerpo a menor temperatura. Esto significa que para que los cambios de estado en el refrigerante se produzcan es muy importante a qué temperatura se producen, para saber si la absorción de calor en la evaporación y la cesión de calor en la condensación se pueden llevar a cabo.

Esto lleva a recordar el concepto de temperatura de saturación: temperatura a la cual un líquido se transforma en vapor, o un vapor se transforma en líquido, es decir la temperatura a la que se produce la evaporación y la condensación del refrigerante, independiente para cada sustancia, y variable con la presión a la que se encuentra sometida la sustancia. Cuando aumenta la presión, aumenta la temperatura de saturación.

El objetivo es refrigerar un espacio, para ello se debe extraer calor del espacio, utilizando un fluido llamado refrigerante; el refrigerante absorbe el calor del espacio mientras se evapora (absorbe el calor latente del refrigerante), con lo cual el calor debe fluir del espacio que se quiere refrigerar hacia el refrigerante. Es decir, interesa que el refrigerante utilizado se evapore a temperaturas más bajas que a la temperatura a la cual se encuentra el espacio que se va a refrigerar.

Interesa que las sustancias utilizadas como refrigerantes tengan temperaturas de saturación muy bajas, por debajo de cero para que la temperatura que se quiera alcanzar en el espacio a refrigerar siempre sea superior a la temperatura de saturación del refrigerante, y el flujo de calor siempre vaya del espacio hacia el refrigerante.

Lo contrario ocurre en la condensación del refrigerante. Como en la condensación el refrigerante cede calor, para volver a su estado líquido, el refrigerante debe encontrar un cuerpo más frío que él para poder condensarse. Pero la temperatura de saturación es la misma para evaporar que para condensar, y se ha dicho que interesa sustancias con temperaturas de saturación muy bajas para producir la evaporación del refrigerante. Entonces, ¿Cómo se condensará el refrigerante, para volver a evaporarlo y continuar extrayendo calor del espacio a refrigerar? Si, además, el calor del refrigerante se va a ceder al exterior que se supone, está a más temperatura que el espacio que se está refrigerando.

La solución es la siguiente: se aumenta la presión a la que se encuentra sometido el refrigerante hasta el punto en que la temperatura de saturación del refrigerante es mayor que la temperatura exterior, convirtiendo al refrigerante en el cuerpo caliente en su punto de condensación, y el exterior que rodea el espacio a refrigerar en el cuerpo frío, absorbiendo el calor que necesita ceder el refrigerante para condensarse y volver a su estado líquido para iniciar otra vez el ciclo de refrigeración.

Entre la condensación y evaporación en el ciclo de refrigeración, se debe reducir la presión a la que se encuentra sometido el refrigerante, para que la temperatura de saturación descienda y la evaporación del refrigerante vuelva a producirse.

TRABAJO PREPARATORIO

Investigar y realizar un resumen sobre la teoría de refrigeración y sobre el funcionamiento de los componentes mecánicos

- Compresor
- Condensador
- Evaporador
- Tubo Capilar
- Filtro deshidratador

- Consultar y realizar un resumen sobre las principales características de los sistemas de Refrigeración Doméstica
- Consultar y realizar un resumen sobre los principales refrigerantes domésticos.

PROCEDIMIENTO

1. Encender el Módulo de Refrigeración SR-L628EV y ajustar la fecha y hora
2. Llenar dos recipientes con iguales características de volumen Ejm. 1 Kg
3. Uno de los recipientes con agua se introducirá en el compartimento del refrigerador y el otro recipiente en el compartimento del congelador
4. Colocar al Módulo de Refrigeración en modo automático y setear el valor de temperatura a 0°C (temperatura a la cual el agua se congelará)
5. Activar el registro de datos (se registrarán cuatro variables: Temperatura del congelador y del refrigerador y humedad del refrigerador y del congelador)
6. Con ayuda de dos termómetros, los cuales irán colocados en cada uno de los recipientes respectivamente, tomar datos de temperatura cada 2 minutos
7. Con ayuda de un cronómetro, tomar el tiempo que se demora en congelar el agua
8. Descargar los datos desde registrados en el PLC hacia un computador

INFORME

1. Dibujar las siguientes gráficas (Puede ayudarse de la función “Línea con marcadores” en Excel 2010)
 - 1.1. Temperatura vs. Tiempo del Refrigerador
 - 1.2. Temperatura vs. Tiempo del recipiente con agua en el Refrigerador
 - 1.3. Temperatura vs. Tiempo del Congelador
 - 1.4. Temperatura vs. Tiempo del recipiente con agua en el Congelador
 - 1.5. Humedad del congelador vs. Tiempo
 - 1.6. Humedad del refrigerador vs. Tiempo

2. Encontrar la ecuación de cada una de las gráficas (Puede ayudarse de la función “Línea de tendencia” en Excel 2010)
3. Hallar la rapidez de variación de la Temperatura con respecto al tiempo en cada una de las gráficas
4. Solicitar a las casas comerciales, dos proformas de refrigeradores domésticos con características similares al SR-L628EV de Samsung y hacer una tabla de comparación de las principales diferencias de los tres equipos
5. Conclusiones y Recomendaciones

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

1. A. CASP y J. ABRIL, Procesos de conservación de alimentos, Editorial Mc Graw Hill, 2da. Edición
2. JOSÉ HERNANDEZ VALADEZ, Manual de Refrigeración Doméstica, Editorial Trillas, 3ra. Edición
3. FONDO DE RECONVERSIÓN INDUSTRIAL, Manual de buenas prácticas en refrigeración
4. FREDY GUILLERMO ERASO, Refrigeración Doméstica

ANEXO 8. Glosario de términos

Abocardado: Agrandamiento (abocinado) que se hace en el extremo de un tubo flexible, por medio del cual, el tubo se une a una conexión o a otro tubo. Este agrandamiento se hace a un ángulo de aproximadamente 45°. Las conexiones lo oprimen firmemente, para hacer la unión fuerte y a prueba de fugas.

Aceite para refrigeración: Aceite especialmente preparado para usarse en el mecanismo de los sistemas de refrigeración.

Acondicionador de aire: Dispositivo utilizado para controlar la temperatura, humedad, limpieza y movimiento del aire en el espacio acondicionado, ya sea para confort humano o proceso industrial.

Actuador: La parte de una válvula reguladora que convierte el fluido mecánico, la energía térmica o la energía eléctrica, en movimiento mecánico para abrir o cerrar la válvula.

Acumulador: Tanque de almacenamiento que recibe refrigerante líquido del evaporador, evitando que fluya hacia la línea de succión antes de evaporarse.

Adiabática, compresión: Compresión de gas refrigerante, sin quitarle ni agregarle calor.

Aire acondicionado: Control de la temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire en un espacio confinado, según se requiera, para confort humano o proceso industrial. Control de temperatura significa calentar cuando el aire está frío, y enfriar cuando la temperatura es muy caliente.

Aire seco: Aire en el cual no hay vapor de agua (humedad).

Aislamiento (eléctrico): Sustancia que casi no tiene electrones libres; lo anterior hace que sea pobre en la conducción de la corriente eléctrica.

Aislamiento (térmico): Material que es pobre conductor de calor, por lo que se usa para retardar o disminuir el flujo de calor. Algunos materiales aislantes son corcho, fibra de vidrio, elásticos espumados (poliuretano y poliestireno), etc.

Aleta: Superficie metálica unida a un tubo para proporcionar mayor superficie de contacto, a fin de mejorar el enfriamiento. Las aletas pueden ser circulares, enrolladas en forma de espiral individualmente en cada tubo, o rectangulares en forma de placa, para un grupo de tubos. Se usan extensivamente en condensadores enfriados por aire y evaporadores.

Alternativo: Movimiento hacia adelante y hacia atrás en línea recta.

Ambiente: Condiciones circundantes.

Amoniaco: Combinación química de nitrógeno e hidrógeno (NH₃). También se usa como refrigerante y se identifica como R-717.

Asiento: Parte del mecanismo de una válvula, contra la cual presiona la válvula para cerrar.

Aspiración: Movimiento producido en un fluido por succión.

Azeotrópica, mezcla: Mezcla de dos o más líquidos de diferente volatilidad, que al combinarse, se comportan como si fueran un solo componente. El punto de ebullición de la mezcla es menor que los de los componentes individuales. Su composición no cambia al evaporarse ni al condensarse. Un ejemplo de mezcla azeotrópica es el refrigerante 502, que está compuesto de 48.8 % de R-22 y 51.2 % de R-115.

Azeótropo: Que tiene puntos de ebullición máximos y mínimos constantes.

Baño: Solución líquida usada para limpiar, recubrir o mantener una temperatura especificada.

Bar: Unidad de presión absoluta. Un bar equivale a 100 kPa (0.9869 atmósferas).

Barómetro: Instrumento para medir la presión atmosférica. Puede estar calibrado en mm o pulgadas de mercurio en una columna; o en Kg/cm² o en lb/pulg².

Bióxido de carbono: Compuesto de carbono y oxígeno (CO₂), el cual algunas veces se usa como refrigerante, R-744. Cuando se solidifica, comprimiéndolo en bloques sólidos, se le conoce como "Hielo Seco". Su temperatura es de -78.3° C.

Bomba: Cualquiera de las diferentes máquinas que impulsan un gas o un líquido o lo atraen de algo, por succión o por presión.

Bomba centrífuga: Bomba que produce velocidad al fluido, convirtiéndola en carga de presión.

Bomba de calor: Sistema del ciclo de compresión, utilizado para abastecer calor a un espacio de temperatura controlada. El mismo sistema, puede también extraer calor del mismo espacio.

Bomba de condensado: Dispositivo para eliminar el condensado de agua, que se acumula debajo de un evaporador.

Bomba de desplazamiento fijo: Bomba en la que el desplazamiento por ciclo, no puede ser variado.

Bomba de tornillo: Bomba que tiene dos tornillos entrelazados, rotando dentro de una envolvente.

Bomba de vacío: Dispositivo especial de alta eficiencia, utilizado para crear alto vacío para fines de deshidratación o de pruebas.

Bomba alternativa (un pistón): Bomba de un solo pistón alternativo (que se mueve hacia delante y atrás, o hacia arriba y abajo).

Bulbo húmedo, termómetro: Instrumento utilizado en la medición de la humedad relativa. La evaporación de la humedad disminuye la temperatura de bulbo húmedo, comparada con la temperatura de bulbo seco de la misma muestra de aire.

Bulbo seco, termómetro: Instrumento con un elemento sensible para medir la temperatura ambiente del aire.

Bulbo sensor: Parte de un dispositivo con un fluido sellado, que reacciona a los cambios de temperatura. Se usa para medir temperaturas o para controlar mecanismos.

Bulbo sensor de temperatura: Bulbo que contiene un fluido volátil y fuelle o diafragma. El aumento de temperatura en el bulbo, causa que el fuelle o diafragma se expanda.

Butano: Hidrocarburo líquido (C_4H_{10}), comúnmente usado como combustible o para fines de calentamiento.

Cabezal: Longitud de tubería o recipiente, al cual se le unen dos o más tuberías, que transportan un fluido de una fuente común, a diferentes puntos de uso.

Caída de presión: Diferencia de presión en dos extremos de un circuito o parte de un circuito. Cualquier pérdida de presión en la línea debido a la fricción del fluido, o a una restricción en la línea.

Caja de conexiones: Caja o contenedor que cubre un grupo de terminales eléctricas.

Calor: Forma de energía que actúa sobre las sustancias para elevar su temperatura; energía asociada con el movimiento al azar de las moléculas.

Calor de compresión: Efecto de calefacción que se lleva a cabo cuando se comprime un gas. Energía mecánica de la presión, convertida a energía calorífica.

Calor de fusión: Calor requerido por una sustancia, para cambiar del estado sólido al estado líquido, a una temperatura constante. Por ejemplo: hielo a agua a 0 °C. El calor de fusión del hielo es 335 kJ/kg.

Calor específico: Relación de la cantidad de calor requerido, para aumentar o disminuir la temperatura de una sustancia en 1 °C, comparado con la que se requiere para aumentar o disminuir la temperatura de una masa igual de agua en 1 °C. Se expresa como una fracción decimal.

Calor latente: Cantidad de energía calorífica requerida para efectuar un cambio de estado (fusión, evaporación, solidificación) de una sustancia, sin cambio en la temperatura o presión.

Calor latente de condensación: Cantidad de calor liberada por un kg de una sustancia para cambiar su estado de vapor a líquido.

Calor latente de evaporación: Cantidad de calor requerido por un kg de sustancia, para cambiar su estado de líquido a vapor.

Calor sensible: Calor que causa un cambio de temperatura en una sustancia, sin que cambie de estado.

Calor total: Suma del calor sensible y del calor latente.

Caloría: Unidad para medir el calor en el sistema métrico. Equivale a la cantidad de calor que se requiere, para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado. 1000 calorías = 1 kcal.

Cámara de refrigeración: Espacio refrigerado comercial, que se mantiene a temperaturas abajo de la ambiental.

Cambio de estado: Condición en la cual, una sustancia cambia de sólido a líquido o de líquido a gas, debido a la aplicación de calor. O a la inversa, cuando una sustancia cambia de gas a líquido o de líquido a sólido, debido a la eliminación de calor.

Capacidad: Sistema de clasificación en refrigeración. Medido generalmente en kcal/h o en watios.

Carbón activado: Carbón especialmente procesado, utilizado en filtros deshidratadores. También se utiliza para limpiar aire.

Carga de refrigerante: Cantidad de refrigerante colocada en un sistema de refrigeración.

Centígrada, escala: Escala de temperatura usada en el sistema métrico. El punto de congelación del agua es de 0 °C, el punto de ebullición es de 100 °C.

Cera: Ingrediente en muchos aceites lubricantes, el cual se puede separar del aceite si se enfría lo suficiente.

Cero absoluto (temperatura): Temperatura a la cual cesa todo movimiento molecular. (-273 °C y -460 °F).

Ciclo: Serie de eventos u operaciones, que tienen una tendencia a repetirse en el mismo orden.

Ciclo de paro: Segmento del ciclo de refrigeración cuando el sistema no está operando.

Ciclo intermitente: Ciclo que se repite a intervalos variables de tiempo

Cilindro: Dispositivo que convierte fuerza de un fluido, en fuerza y movimiento mecánico lineal. Consta, usualmente, de elementos móviles tales como un pistón, biela y émbolo, operando dentro de un cilindro.

Cilindro para refrigerante: Cilindro en el que se almacena y distribuye el refrigerante. El código de colores pintado en el cilindro indica la clase de refrigerante

Cilindro portátil: Recipiente utilizado para almacenar refrigerante. Hay dos tipos comunes: recargables y desechables.

Circuito: Instalación de tubería o de cable eléctrico que permite el flujo desde y hacia la fuente de energía.

Cobrizado: Condición anormal que se desarrolla en algunas unidades, en las que el cobre es depositado electrolíticamente sobre algunas superficies del compresor.

Coefficiente de expansión: Incremento en longitud, área o volumen de la unidad, por un grado de aumento en la temperatura.

Coefficiente de rendimiento: Relación del trabajo realizado o completado, en comparación con la energía utilizada.

Cojinete: Dispositivo de baja fricción para soportar y alinear una parte móvil.

Compresión: Término utilizado para denotar el proceso de incrementar la presión, sobre un volumen dado de gas, usando energía mecánica. Al hacer esto, se reduce el volumen y se incrementa la presión del gas.

Compresor: Máquina en sistemas de refrigeración, hecha para succionar vapor del lado de baja presión en el ciclo de refrigeración, y comprimirlo y descargarlo hacia el lado de alta presión del ciclo.

Compresor abierto: Compresor en el que el cigüeñal se extiende a través del cárter, hacia afuera del compresor, movido por un motor externo. Comúnmente se le llama compresor de movimiento externo.

Compresor centrífugo: Máquina para comprimir grandes volúmenes de vapor, a una velocidad relativamente alta, usando relaciones de compresión pequeñas. La compresión está basada en una fuerza centrífuga de ruedas giratorias, con hojas tipo turbina.

Compresor compuesto: Compresor de cilindros múltiples, en el que uno o más cilindros succionan el vapor del evaporador, y lo descargan, generalmente, a través de un interenfriador y hacia los demás cilindros, donde se comprime hasta la presión de condensación.

Compresor de aletas rotatorias: Mecanismo para bombear fluidos por medio de aletas giratorias, dentro de un cárter cilíndrico.

Compresor alternativo: Compresor que funciona con un mecanismo de pistones y cilindros, para proporcionar una acción bombeante. Los pistones se mueven hacia adelante y hacia atrás dentro del cilindro, para comprimir el refrigerante.

Compresor de etapas múltiples: Compresor que tiene dos o más etapas de compresión. La descarga de cada etapa es la presión de succión en la siguiente de la serie.

Compresor de una etapa: Compresor de una sola etapa de compresión, entre las presiones del lado de baja y del lado de alta.

Compresor hermético: Unidad motocompresora en la que el motor eléctrico y el compresor, están montados en una flecha común, dentro de un casco de acero soldado. El motor eléctrico opera en la atmósfera de refrigerante.

Compresor rotativo: Compresor con un cilindro y un rotor excéntrico interior, el cual gira dentro del cilindro. Las aletas deslizables, dentro del rotor, son las que comprimen el vapor durante la rotación.

Compresor semihermético: Unidad motocompresora que opera igual que un compresor hermético, con la excepción de que no está totalmente sellado, sino que se pueden quitar las tapas de los extremos para darle servicio.

Conexión para manómetro: Abertura o puerto, dispuesto para que el técnico de servicio instale un manómetro.

Condensación: Proceso de cambiar de estado un vapor o un gas a líquido, al enfriarse por debajo de su temperatura de saturación o punto de rocío.

Condensado: Líquido que se forma cuando se condensa un vapor.

Condensador: Componente del mecanismo de refrigeración, el cual recibe del compresor vapor caliente a alta presión, enfriándolo y regresándolo luego a su estado líquido. El enfriamiento puede ser con aire o con agua.

Condensador atmosférico: Antiguo tipo de condensador, en el cual el vapor de refrigerante de la descarga fluye dentro de una serie de tubos. El agua fluye por gravedad, sobre el exterior de los tubos, para absorber el calor del refrigerante y condensarlo. Los tubos están expuestos a la atmósfera.

Condensador de casco y tubos: Recipiente cilíndrico de acero con tubos de cobre en el interior. El agua circula por los tubos, condensando los vapores dentro del casco. El fondo del casco sirve como receptor de líquido.

Condensador de casco y serpentín: Este condensador es muy parecido al de casco y tubos, pero en lugar de tubos rectos, tiene un serpentín por el que circula el agua.

Condensador enfriado por agua: Intercambiador de calor, diseñado para transferir calor desde el refrigerante gaseoso al agua. Existen tres tipos: de casco y tubos, de casco y serpentín y de tubos concéntricos.

Condensador enfriado por aire: Intercambiador de calor, el cual transfiere calor al aire circundante. En estos condensadores, el vapor caliente de la descarga del compresor entra en los tubos, y el aire atmosférico circula por fuera de los tubos, los cuales, generalmente, son del tipo aleteado.

Condensador evaporativo: Condensador que combina un condensador atmosférico, con una torre de enfriamiento de tiro forzado. El haz de tubos se encuentra dentro de la torre. El agua es rociada sobre los tubos, y el aire forzado enfría el agua y los tubos. Parte del agua se evapora y enfría el resto del agua, reduciendo el consumo de ésta.

Condensar: Acción de cambiar un gas o vapor a líquido.

Conducción: Flujo de calor entre sustancias, por medio de vibración de las moléculas.

Conductividad: Habilidad de una sustancia para conducir o transmitir calor y/o electricidad.

Conductividad, coeficiente de: Medición de la proporción relativa, a la cual diferentes materiales conducen el calor. El cobre es un buen conductor del calor, por lo tanto, tiene un coeficiente de conductividad alto.

Conductor: Sustancia o cuerpo capaz de transmitir electricidad o calor.

Congelación: Cambio de estado de líquido a sólido.

Congelador sin escarcha: Gabinete refrigerado que opera con un deshielo automático durante cada ciclo.

Contaminante: Sustancia, humedad o cualquier materia extraña al refrigerante o al aceite en un sistema.

Control: Dispositivo manual o automático, utilizado para detener, arrancar y/o regular el flujo de gas, líquido y/o electricidad.

Control automático: Acción de una válvula, lograda a través de medios automáticos que no requieren de ajuste manual.

Control de baja presión: Dispositivo utilizado para evitar que la presión de evaporación del lado de baja caiga por debajo de cierta presión.

Control de deshielo: Dispositivo para operar un sistema de refrigeración, de tal manera, que proporcione una forma de derretir el hielo y la escarcha formados en el evaporador. Hay tres tipos: manual, automático y semiautomático.

Control de presión de aceite: Dispositivo de protección que verifica la presión del aceite en el compresor. Se conecta en serie con el compresor, y lo apaga durante los períodos de baja presión de aceite.

Control de refrigerante: Dispositivo que mide el flujo de refrigerante, entre dos áreas del sistema de refrigeración. También mantiene una diferencia de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema, mientras la unidad está trabajando.

Control de seguridad: Dispositivo para detener la unidad de refrigeración, si se llega a una condición insegura y/o peligrosa, de presiones o temperaturas.

Control de temperatura: Dispositivo termostático operado por temperatura, que abre o cierra un circuito automáticamente.

Convección: Transferencia de calor por medio del movimiento o flujo de un fluido.

Convección forzada: Transferencia de calor que resulta del movimiento forzado de un líquido o un gas, por medio de una bomba o un ventilador.

Convección natural: Circulación de un gas o un líquido, debido a la diferencia en densidad resultante de la diferencia de temperaturas.

Corrosión: Deterioro de materiales por acción química.

Cortocircuito: Condición eléctrica, donde una parte del circuito toca otra parte del mismo, provocando que la corriente o parte de la misma, tome un trayecto equivocado.

Decibel (dB): Unidad utilizada para medir la intensidad de los sonidos. Un decibel, es igual a la diferencia aproximada de la intensidad detectable por el oído humano, cuyo rango es aprox. 130 dB, en una escala que empieza con uno para los sonidos débilmente audibles.

Deflector: Placa utilizada para dirigir o controlar el movimiento de un fluido, dentro de un área confinada.

Densidad: Estrechez de la textura o consistencia de partículas, dentro de una sustancia. Se expresa como peso por unidad de volumen.

Depósito de líquido: Cilindro o contenedor conectado a la salida del condensador, para almacenar refrigerante líquido en un sistema.

Desecante: Sustancia utilizada para coleccionar y retener humedad, en un sistema de refrigeración. Los desecantes comunes son la sílica gel, la alúmina activada y el tamiz molecular.

Desengrasante: Solvente o solución que se usa para remover aceite o grasa, de las partes de un refrigerador.

Desescarche eléctrico: Uso de resistencia eléctrica, para fundir el hielo y la escarcha de los evaporadores, durante el ciclo de deshielo.

Deshidratador: Sustancia o dispositivo que se utiliza para remover la humedad, en un sistema de refrigeración.

Deshumidificador: Dispositivo usado para eliminar la humedad del aire.

Desplazamiento de compresor: Volumen en m^3 , representado por el área de la cabeza del pistón o pistones, multiplicada por la longitud de la carrera. Éste es el desplazamiento real, no el teórico.

Desplazamiento del pistón: Volumen desplazado por el pistón, al viajar la longitud de su carrera.

Desvío (By Pass) de gas caliente: Arreglo de tubería en la unidad de refrigeración, la cual conduce gas refrigerante caliente del condensador al lado de baja presión.

Detector de fugas: Dispositivo o instrumento que se utiliza para detectar fugas, tal como lámpara de haluro, sensor electrónico o jabón.

Detector de fugas de espuma: Sistema de líquido espumante especial, que se aplica con una brocha sobre uniones y conexiones, para localizar fugas de manera similar a la espuma de jabón.

Detector de fugas electrónico: Instrumento electrónico que mide el flujo electrónico a través de una rejilla de gas. Los cambios en el flujo electrónico indican la presencia de moléculas de gas refrigerante.

Diagrama de Molliere: Gráfica de las propiedades de un refrigerante, tales como: presión, temperatura, calor, etc.

Diclorodifluorometano: Refrigerante comúnmente conocido como R-12.

Difusor de aire: Rejilla o salida de distribución de aire, diseñada para dirigir el flujo de aire hacia los objetivos deseados.

Efecto refrigerante: Cantidad de calor absorbida en el evaporador del espacio a refrigerar.

Eficiencia: Capacidad de un dispositivo, sistema o actividad, dividida entre la potencia absorbida necesaria para crear esa capacidad. En un compresor, la eficiencia sería la capacidad de trabajo, medida por un cambio de presión, dividida entre la energía eléctrica consumida.

Eficiencia volumétrica: Término utilizado para expresar la relación, entre el funcionamiento real de un compresor o de una bomba de vacío, y el funcionamiento calculado en base a ese desplazamiento.

Energía: Habilidad real o potencial de efectuar trabajo.

Energía, conservación de la: Proceso de instituir cambios que resultarán en ahorros de energía, sobre la revisión de los cálculos para determinar las cargas principales.

Enfriador: Intercambiador de calor que remueve calor de las sustancias.

Enfriador de agua: Sistema de aire acondicionado, el cual circula agua fría a varios serpentines de enfriamiento, en una instalación.

Enfriador de aire: Mecanismo diseñado para bajar la temperatura del aire que pasa a través de él.

Entalpía: La cantidad de calor en un kilogramo de sustancia, calculada de una base de temperatura aceptada. La temperatura de 0 °C, es una base aceptada para los cálculos del vapor de agua. Para cálculos de refrigeración, la base aceptada es de -40 °C.

Entropía: Factor matemático usado en cálculos de ingeniería. La energía en un sistema.

Escala centígrada: Escala de temperaturas usada en el sistema métrico. El punto de congelación de agua a la presión atmosférica normal, es de 0 °C, y el punto de ebullición, es de 100 °C.

Escala Fahrenheit: En un termómetro Fahrenheit, bajo la presión atmosférica normal, el punto de ebullición del agua es de 212 °F, y el punto de congelación es de 32 °F por encima de cero.

Escala Kelvin (K): Escala de temperatura, en la cual, la unidad de medición es igual al grado centígrado, y de acuerdo a la cual, el cero absoluto es 0 °K, equivalentes a -273.16 °C. En esta escala el agua se congela a 273.16 °K y ebulle a 373.16 °K.

Escala Rankine (R): Nombre dado a la escala de temperaturas absolutas, cuyas unidades son similares a los grados Fahrenheit. El cero (0 °R) en esta escala equivale a -460 °F.

Espacio muerto: Pequeño espacio en un cilindro, del cual no ha sido expulsado completamente el gas comprimido. Para una operación efectiva, los compresores se diseñan para tener un espacio muerto tan pequeño como sea posible.

Estratificación del aire: Condición en la que hay poco o ningún movimiento de aire en un cuarto. El aire permanece en capas de temperaturas.

Evaporación: Término aplicado al cambio de estado de líquido a vapor. En este proceso se absorbe calor.

Evaporador: Componente del mecanismo de un sistema de refrigeración, en el cual el refrigerante se evapora y absorbe calor.

Evaporador de casco y tubos: Evaporador del tipo inundado, utilizado principalmente para enfriar líquidos. Generalmente, el líquido circula por los tubos que están dentro del casco cilíndrico, o viceversa.

Evaporador de expansión directa: Evaporador que utiliza como dispositivo de control de líquido, una válvula de expansión automática, o una de termo expansión.

Evaporador inundado: Evaporador que todo el tiempo contiene refrigerante líquido.

Evaporador seco: Evaporador en el que el refrigerante está en forma de gotas.

Excéntrico: Círculo o disco montado fuera de centro en una flecha.

Filtro: Dispositivo para remover partículas extrañas de un fluido.

Filtro de carbón: Filtro de aire, que utiliza carbón activado como agente limpiador.

Filtro electrostático: Para limpiar aire, tipo de filtro que da a las partículas una carga eléctrica. Esto causa que las partículas sean atraídas a una placa para que sean removidas del aire.

Filtro-deshidratador: Dispositivo empleado para la limpieza del refrigerante y del aceite, en los sistemas de refrigeración. Remueve toda clase de contaminantes, tales como: suciedad, rebabas, ceras, humedad, ácidos, óxidos, etc.

Flotador del lado de alta: Mecanismo para control de refrigerante, que controla el nivel de refrigerante líquido, en el lado de alta presión del sistema.

Flotador del lado de baja: Válvula de control de refrigerante, operada por el nivel del refrigerante líquido, en el lado de baja presión del sistema.

Fluido: Sustancia que puede estar en estado líquido o gaseoso. Sustancia que contiene partículas que se mueven y cambian de posición sin separación de la masa.

Frío: La ausencia de calor. Temperatura considerablemente por debajo de la normal.

Fuelle: Contenedor cilíndrico corrugado, el cual se mueve al cambiar la presión, o proporciona un sello durante el movimiento de partes.

Fuerza: La fuerza es una presión acumulada, se expresa en Newtons (N) en el Sistema Internacional, o en libras (Lb), en el Sistema Inglés.

Gas: Fase o estado de vapor de una sustancia. Un gas es un vapor sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación.

Gas inerte: Gas que no cambia de estado, ni químicamente, cuando está dentro de un sistema, aunque se exponga a otros gases.

Gas licuado: Gas por debajo de cierta temperatura y por encima de cierta presión, que se vuelve líquido.

Gas no condensable: Gas que no se convierte en líquido a las temperaturas y presiones de operación.

Golpe de líquido: Condición que se presenta cuando en un sistema de expansión directa, el exceso de refrigerante líquido sale del evaporador y entra al compresor, dañándolo.

Hidráulica: Rama de la física, que tiene que ver con las propiedades mecánicas del agua y otros líquidos en movimiento; el flujo del refrigerante líquido también contiene un elemento sensible a la humedad, cuyo color indica el contenido de humedad.

Indicador de líquido y humedad: dispositivo que revela la presencia de exceso de humedad y permite comprobar la circulación de refrigerante líquido a través del visor.

Infiltración: Paso del aire exterior hacia el edificio, a través de ventanas, puertas, grietas, etc.

Inhibidor: Sustancia que evita una reacción química como la oxidación o la corrosión.

Instrumento: Dispositivo que tiene habilidades para registrar, indicar, medir y/o controlar.

Intercambio de calor: Dispositivo utilizado para transferir calor de una superficie caliente a una superficie menos caliente (los evaporadores y condensadores son intercambiadores de calor).

Interruptor de presión: Interruptor operado por una disminución o por un aumento de presión.

Interruptor de presión alta: Interruptor de control eléctrico, operado por la presión del lado de alta, que automáticamente abre un circuito eléctrico, si se alcanza una presión demasiado alta. Se conecta en serie con el motor para detenerlo por alta presión.

Interruptor de presión baja: Dispositivo para proteger el motor, que detecta la presión del lado de baja. El interruptor se conecta en serie con el motor y lo detendrá cuando haya una presión excesivamente baja.

Interruptor de presión de aceite: Dispositivo para proteger al compresor y el motor, en caso de una falla en la presión del aceite. Se conecta en serie con el motor y lo detendrá, durante los períodos de baja presión de aceite.

Higrómetro: Instrumento utilizado para medir el grado de humedad en la atmósfera.

Higroscópico: Habilidad de una sustancia para absorber y soltar humedad, y cambiar sus dimensiones físicas, conforme cambia su contenido de humedad.

Humedad: Vapor de agua presente en el aire atmosférico.

Humedad absoluta: Cantidad de humedad (vapor de agua) en el aire, indicada en g/m³ de aire seco.

Humedad relativa (hr): La cantidad de humedad en una muestra de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura.

Indicador de líquido electrónico: Dispositivo que envía una señal audible, cuando al sistema le hace falta refrigerante.

Indicador de líquido y humedad: Accesorio que se instala en la línea de líquido, que proporciona una ventana de vidrio, a través de la cual se puede observar el nivel de líquido o la presencia de humedad en el circuito.

Isoterma: Nombre con el que se conoce a la línea o líneas que en una gráfica; representa un cambio a temperatura constante.

Isotérmica (expansión o contracción): Acción que se lleva a cabo sin un cambio de temperatura.

Isotérmico: Cambio de volumen o presión bajo condiciones de temperatura constante.

Joule (J): Unidad de energía del Sistema Internacional (SI). Un Joule equivale al trabajo realizado por la fuerza de un Newton, cuando el punto de aplicación se desplaza una distancia de un metro, en dirección de la fuerza.

Junta de expansión: Dispositivo que se instala en la tubería, diseñado para permitir el movimiento de la tubería a causa de expansiones y contracciones, ocasionadas por los cambios de temperatura.

Lado de alta: Partes de un sistema de refrigeración que se encuentran bajo la presión de condensación o alta presión.

Lado de baja: Partes de un sistema de refrigeración que se encuentran por debajo de la presión de evaporación o baja presión.

Lado de succión: Lado de baja presión del sistema, que se extiende desde el control de refrigerante, pasando por el evaporador, la línea de succión, hasta la válvula de servicio de entrada al compresor.

Lámpara de haluro: Tipo de antorcha o soplete, para detectar fugas de refrigerantes halogenados, de manera segura en un sistema.

Línea de descarga: En un sistema de refrigeración, es la tubería que acarrea el gas refrigerante desde el compresor hasta el condensador.

Línea de líquido: Tubería que acarrea refrigerante líquido desde el condensador o recibidor hasta el mecanismo de control de refrigerante.

Línea de succión: Tubería que acarrea refrigerante gaseoso desde el evaporador hasta el compresor.

Líquido: Sustancia cuyas moléculas se mueven libremente entre sí, pero que no tienden a separarse como las de un gas.

Líquidos inflamables: Líquidos que tienen un punto de encendido abajo de 60° C (140° F), y una presión de vapor que no excede los 276 kPa (40 psi) a 38° C (100° F).

Manómetro: Instrumento para medir presiones de gases y vapores. Es un tubo de vidrio (o plástico) en forma de "U", con una cantidad de líquido (agua o mercurio) y los extremos abiertos.

Manómetro compuesto: Instrumento para medir presiones por arriba y abajo de la presión atmosférica.

Manómetro de alta presión: Instrumento para medir presiones hasta 30 bar.

Manómetro de baja presión: Instrumento para medir presiones hasta 12 bar.

Medidor de flujo: Instrumento utilizado para medir la velocidad o el volumen de un fluido en movimiento.

Miscibilidad: La capacidad que tienen las sustancias para mezclarse.

Motor: Máquina rotatoria que transforma energía eléctrica en movimiento mecánico.

Motor hermético: Motor que mueve al compresor, sellado, dentro del mismo casco que contiene al compresor.

Neopreno: Hule sintético, resistente al aceite y gas hidrocarburo.

Newton: Unidad de fuerza del Sistema Internacional (SI), equivalente a la fuerza ejercida sobre un objeto que tiene una masa de un kilogramo, y una aceleración gravitacional de 1 m/seg².

Orgánico: Perteneciente a/o derivado de organismos vivos.

Orificio: Abertura de tamaño exacto para controlar el flujo de fluidos.

Ozono: Una forma de oxígeno, O₃, que tiene tres átomos en su molécula; generalmente es producido por descargas eléctricas a través del aire. La capa de ozono, es la capa externa de la atmósfera de la tierra, que absorbe la luz ultravioleta del sol, y protege a las capas más bajas y a la tierra de los dañinos rayos. En esta capa de ozono se han producido agujeros causados por el cloro. Los clorofluorocarbonos (CFC's) contienen cloro, y cuando se liberan a la atmósfera, deterioran la capa de ozono.

Pascal, Ley de: Esta ley establece que la presión aplicada a un fluido, se transmite igualmente en todas direcciones. Para honrar a Pascal, el sistema internacional de unidades (SI) utiliza el término Pascal como unidad de presión.

Peine para condensador: Dispositivo en forma de peine, de metal o plástico, usado para enderezar las aletas de metal en los condensadores.

PH: Medición de la concentración de iones de hidrógeno libres en una solución acuosa. El rango del pH va de 1 (acidez) hasta 14 (alcalinidad). Un pH de 7 es neutro.

Piezoeléctrico: Propiedad del cristal de cuarzo que le causa vibración, cuando se le aplica un voltaje de alta frecuencia (500 kHz o más alto).

Placa de identificación: Placa comúnmente montada sobre el casco de los compresores y motores, que proporciona información relativa sobre el fabricante, número de parte y especificaciones.

Plato de válvulas: Parte del compresor ubicada entre la parte alta del cuerpo del compresor y la cabeza. Contiene las válvulas y los puertos del compresor.

PPM (Partes Por Millón): Unidad para medir la concentración de un elemento en otro.

Presión: Energía impactada sobre una unidad de área. Fuerza o empuje sobre una superficie.

Presión absoluta: Es la suma de la presión manométrica más la presión atmosférica.

Presión atmosférica: Presión que ejerce el aire atmosférico sobre la tierra. Se mide en kPa, mm de Hg, kg/cm², etc. Al nivel del mar, tiene un valor de 101.325 kPa.

Presión crítica: Condición comprimida del refrigerante, en la cual el líquido y el gas tienen las mismas propiedades.

Presión de alta: Término empleado para referirse a la presión a la que se lleva a cabo la condensación, en un sistema de refrigeración.

Presión de baja: Presión del lado de baja del ciclo de refrigeración, a la que se lleva a cabo la evaporación.

Presión de condensación: Presión dentro de un condensador, a la que el vapor de refrigerante cede su calor latente de evaporación y se vuelve líquido. Varía con la temperatura.

Presión de descarga: En un sistema de refrigeración, se llama así a la presión contra la que descarga el compresor. Comúnmente, es la presión que existe en el lado del condensador, y se mide en la descarga del compresor.

Presión de diseño: La más alta o más severa presión esperada durante la operación. Algunas veces, se usa como la presión de operación calculada, más una tolerancia por seguridad.

Presión de operación: Presión real a la cual trabaja el sistema, bajo condiciones normales. Puede ser positiva o negativa (vacío).

Presión de succión: En un sistema de refrigeración, se llama así a la presión a la entrada del compresor.

Presión de vapor: Presión ejercida por un vapor o un gas.

Presión de vaporización: Presión dentro de un evaporador, a la que el líquido de refrigerante absorbe su calor latente de evaporación y se vuelve vapor. Varía con la temperatura.

Presión estática: Presión de un fluido, expresada en términos de la altura de columna de un fluido, tal como el agua o el mercurio.

Presiones parciales: Condición donde dos o más gases ocupan un espacio, cada uno ejerciendo parte de la presión total.

Pre-enfriador: Dispositivo que se utiliza para enfriar el refrigerante, antes de que entre al condensador principal.

Protector de sobrecarga: Dispositivo operado ya sea por temperatura, corriente o presión, que detiene la operación de la unidad, si surgen condiciones peligrosas.

Protector (eléctrico): Dispositivo eléctrico que abrirá un circuito eléctrico, si ocurren condiciones eléctricas excesivas.

Punto de congelación: Temperatura a la cual se solidifica un líquido al extraerle calor. La temperatura (o punto) de congelación del agua es de 0 °C (32 °F), a la presión normal o atmosférica.

Punto de congelación, depresión del: Temperatura a la cual se forma hielo, en una solución de agua con sal.

Punto de ebullición: Temperatura a la que un líquido hierve, bajo la presión atmosférica de 101.3 kPa. El punto de ebullición del agua pura es de 100 °C a nivel del mar.

Punto de escurrimiento: La temperatura más baja a la cual un líquido escurrirá o fluirá.

Punto de fusión: Temperatura a la cual se derrite o se funde una sustancia a la presión atmosférica.

Punto de ignición: En los líquidos, es la temperatura a la cual arden, y continúan quemándose, por lo menos durante 5 segundos.

Punto de inflamación: En los líquidos, es la temperatura más baja, en la cual el vapor que existe sobre la superficie se inflama cuando se expone a una flama, pero que se apaga inmediatamente.

Purgar: Liberar gas comprimido hacia la atmósfera, a través de una o varias partes, con el propósito de eliminar contaminantes.

Quemadura de motocompresor: Condición en la cual el aislamiento del motor eléctrico se deteriora, debido a un sobrecalentamiento.

Radiación: Transmisión de calor por rayos térmicos u ondas electromagnéticas.

Recalentamiento: 1- Temperatura del vapor arriba de su temperatura de ebullición (saturación) a la misma presión. 2- La diferencia entre la temperatura a la salida del evaporador, y la temperatura más baja del refrigerante, que se está evaporando en el evaporador

Recipiente de líquido: Cilindro o contenedor conectado a la salida del condensador, para almacenar refrigerante líquido en un sistema.

Reciclado de refrigerante: Limpiar el refrigerante para volverlo a usar, reduciendo su humedad, acidez y materia en suspensión. Generalmente, se aplica a procedimientos en el sitio de trabajo, o en talleres de servicio locales.

Refrigeración: proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o materia por debajo de la temperatura del entorno.

Refrigerador libre de escarcha: Gabinete de refrigeración que opera con deshielo automático durante cada ciclo.

Refrigerante: Sustancia utilizada en los mecanismos de refrigeración. Absorbe calor en el evaporador, cambiando de estado de líquido a vapor, liberando su calor en un condensador, al regresar de nuevo del estado gaseoso al estado líquido.

Relación de compresión: Relación de volumen del espacio muerto con el volumen total del cilindro. En refrigeración, también se utiliza como la relación de la presión absoluta del lado de alta, entre la presión absoluta del lado de baja.

Rocío: Humedad atmosférica condensada, depositada en forma de pequeñas gotas sobre las superficies frías.

Rocío, punto de: Temperatura a la cual el vapor de agua del aire (a 100% de humedad relativa) comienza a condensarse y depositarse como líquido.

Rotor: Parte giratoria o rotatoria de un mecanismo.

Salmuera: Agua saturada con un compuesto químico que puede ser una sal.

Sangrar: Reducir lentamente la presión de un gas o de un líquido en un sistema o cilindro, abriendo lentamente una válvula. Este término se aplica también a la acción de drenar constantemente una pequeña cantidad de agua de un condensador evaporativo o de una torre de enfriamiento. El agua nueva que reemplaza al agua "sangrada" diluye las impurezas que forman el sarro.

Saturación: Condición existente cuando una sustancia contiene la mayor cantidad que pueda retener de otra sustancia, a esa presión y temperatura.

Sensor: Material o dispositivo que sufre cambio en sus características físicas o electrónicas al cambiar las condiciones circundantes.

Separador de aceite: Dispositivo utilizado para eliminar aceite del gas refrigerante.

Sistema de control: Todos los componentes que se requieren para el control automático de la variable de un proceso.

Sistema de refrigerante secundario: Sistema de refrigeración en el que el condensador es enfriado por el evaporador de otro sistema de refrigeración (primario).

Sistema hermético: Sistema de refrigeración que tiene un compresor impulsado por un motor, y ambos están contenidos en la misma carcasa.

Sistema inundado: Tipo de sistema de refrigeración en el cual el refrigerante líquido llena todo el evaporador.

Sistema remoto: Sistema de refrigeración en el que la unidad de condensación está alejada del espacio enfriado.

Sistema seco: Sistema de refrigeración que tiene el refrigerante líquido en el evaporador, principalmente en una condición atomizada o en forma de gotas.

Sistema tipo abierto: Sistema de refrigeración con compresor movido por bandas, o directamente acoplado.

Sobrecarga: Carga mayor a aquella para la cual fue diseñado el sistema o mecanismo.

Soldar: Unión de dos metales con material de aporte no ferroso, cuyo punto de fusión es menor al del metal base.

Solución: Líquido mezclado con otro líquido o sólido completamente disuelto. Una solución acuosa de bromuro de litio (comúnmente usada en sistemas de absorción) es agua con una cantidad de bromuro de litio disuelta. Las soluciones "fuertes" o "débiles" son aquellas con concentraciones altas o bajas, respectivamente, de otro líquido o sólido.

Subenfriamiento: Enfriamiento de refrigerante líquido por debajo de su temperatura de condensación.

Sustancia: Cualquier forma de materia o material.

Tanque de hielo: Tanque que contiene serpentines de refrigeración u otras superficies donde se pueda acumular hielo durante los períodos de poca o ninguna demanda de agua helada. Cuando ocurre la demanda el hielo acumulado se derrite para abastecer agua helada.

Temperatura: 1- Intensidad de calor o frío, tal como se mide con un termómetro. 2- Medición de la velocidad del movimiento de las moléculas.

Temperatura absoluta: Temperatura medida desde el cero absoluto.

Temperatura ambiente: Temperatura de un fluido (generalmente el aire) que rodea un objeto por todos lados.

Temperatura crítica: Temperatura a la cual el vapor y el líquido tienen las mismas propiedades.

Temperatura de bulbo húmedo: Medición del grado de humedad. Es la temperatura de evaporación de una muestra de aire.

Temperatura de bulbo seco: Temperatura del aire, medida con un termómetro ordinario.

Temperatura de condensación: Temperatura dentro de un condensador, en el que el vapor de refrigerante cede su calor latente de evaporación y vuelve líquido. Varía con la presión.

Temperatura de ebullición: Temperatura a la cual un líquido cambia a gas.

Temperatura efectiva: Efecto global de la temperatura sobre un humano, humedad y movimiento del aire.

Temperatura de vaporización: Temperatura dentro de un evaporador, en el que el líquido de refrigerante absorbe su calor latente de evaporación y vuelve vapor. Varía con la presión.

Termodinámica: Rama de las ciencias; trata con las relaciones entre el calor y la acción mecánica.

Termómetro: Instrumento para medir temperaturas.

Termostato: Dispositivo que detecta las condiciones de la temperatura ambiente, y a su vez, acciona para controlar un circuito.

Torre de enfriamiento: Dispositivo que enfría por evaporación del agua en el aire. El agua es enfriada hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire.

Transmisión de calor: Movimiento de calor desde un cuerpo o sustancia a otro. El calor puede transmitirse por radiación, conducción, convección o combinación de las tres anteriores.

Tubo capilar: Tubo de diámetro interior pequeño, que se utiliza para controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador. Se utiliza, generalmente, en sistemas de refrigeración pequeños, tales como refrigeradores domésticos, unidades de aire acondicionado de ventana, etc.

Unidad de condensación: Parte de un mecanismo de refrigeración que succiona vapor de refrigerante del evaporador, lo comprime, lo licúa en el condensador y lo regresa al control de refrigerante.

Vacío: Presión menor que la atmosférica.

Vapor: Estado o fase de una sustancia que está en su temperatura de saturación, o muy cercano a ella.

Vapor saturado: Vapor que se encuentra a las mismas condiciones de temperatura y presión que el líquido del cual se está evaporando. Es decir, si este vapor se enfría, se condensa.

Vaporización: Cambio del estado líquido al gaseoso.

Velocímetro: Instrumento que mide velocidades del aire, utilizando una escala que indica directamente la velocidad del aire.

Ventilación: Flujo de aire forzado, por diseño, entre un área y otra.

Ventilador: Dispositivo de flujo radial o axial, usado para mover o producir flujo de gases.

Ventilador del condensador: Dispositivo utilizado para mover aire a través del condensador enfriado por aire.

Ventilador del evaporador: Ventilador que incrementa el flujo de aire sobre la superficie de intercambio de calor de los evaporadores.

Volumen específico: Volumen por unidad de masa de una sustancia (m^3/kg).

Watio (W): Unidad de potencia, equivale a la potencia producida al realizar un trabajo de 1 Joule por segundo ($1 \text{ Watio} = 1 \text{ J/s}$).

Zona de confort: Área sobre una carta psicrométrica, que muestra las condiciones de temperatura, humedad, y algunas veces, el movimiento del aire, en que la mayoría de la gente se siente confortable.